COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA

INFORME FINAL
VOLUMEN 1
ESTUDIO DE INGENIERÍA

JULIO 2012

ARRAU INGENIERÍA E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
María Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago
Fono 341 48 00 Fax 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO

VOLUMEN 1: ESTUDIO DE INGENIERÍA

VOLUMEN 2: TOPOGRAFÍA

VOLUMEN 3: ESTUDIOS AGROECONÓMICOS

VOLUMEN 4: ESTUDIO ANÁLISIS AMBIENTAL

VOLUMEN 5: PARTICIPACIÓN CIUDADANA

VOLUMEN 6: ÁLBUM DE PLANOS

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
1.	**INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS, UBICACIÓN, ANTECEDENTES GENERALES ÁREA DE ESTUDIO Y CONTENIDO INFORME FINAL**	**1-1**
1.1.	INTRODUCCIÓN	1-1
1.2.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1-2
1.2.1.	Objetivo General	1-3
1.2.2.	Objetivos Específicos	1-3
1.3.	UBICACIÓN DEL ÁREA DE PROYECTO	1-3
1.4.	ANTECEDENTES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO	1-5
1.4.1.	Estructura Política y Administrativa	1-5
1.4.2.	Características Físicas	1-6
1.4.2.1.	Relieve Comunal	1-6
1.4.2.2.	Geomorfología de las Cuencas de Catemu, El Melón y Nogales	1-6
1.4.2.3.	Clima y Meteorología	1-7
1.4.2.4.	Hidrografía, Cuencas, y Recursos Hídricos	1-8
1.4.3.	Análisis de Suelos y Territorio Urbano	1-10
1.4.3.1.	Capacidad de Uso de Suelo	1-11
1.4.4.	Antecedentes Demográficos y Socioeconómicos	1-13
1.4.4.1.	Caracterización General	1-13
1.4.4.2.	Dinámica Poblacional	1-14
1.4.4.3.	Proyecciones de la Población	1-15
1.4.4.4.	Dinámica Migracional	1-16
1.4.4.5.	Principales Actividades Económicas	1-16
1.4.4.6.	Ocupación	1-18
1.4.5.	Condiciones de Vida de la Población	1-19
1.4.5.1.	Salud	1-19
1.4.5.2.	Educación	1-21
1.4.5.3.	Vivienda	1-22
1.4.5.4.	Servicios Básicos, Alcantarillado y Agua Potable	1-23
1.4.5.5.	Accesibilidad	1-23
1.5.	CONTENIDOS DEL INFORME FINAL	1-25
2.	**RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES**	**2-1**
2.1.	REVISIÓN DE ESTUDIOS	2-1
2.1.1.	Estudios de Ingeniería	2-1

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
2.1.1.1.	Estudio de Perfil: Proyecto de Unificación de Bocatomas y Multiuso de Aguas de Canales: Arriba de Catemu; Abajo de Catemu y Pepino. V Región. Procivil, 2009	2-1
2.1.1.2.	Perfil de Proyecto para Generación Hidroeléctrica: Descarga desde Canal Arriba de Catemu a Canal Debajo de Catemu y a Canal Pepino o Huidobro. Procivil, 2009	2-2
2.1.1.3.	Regadío Valle de Catemu: Proyecto Túnel Salesianos. Galleguillos Stowhas Ingenieros Civiles, 1987	2-4
2.1.1.4.	Estudio Mejoramiento Canales Catemu; V Región. Electrowatt, 2000	2-4
2.1.1.5.	Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Canales Catemu; Comuna de Catemu, V Región. Procivil, 1996	2-6
2.1.1.6.	Modelo de Simulación Hidrogeológica; Valle del Río Aconcagua. Ingendesa, 1998	2-7
2.1.1.7.	Embalse de Regulación para el río Aconcagua. EDIC-Geotécnica Consultores, 2001.	2-8
2.1.1.8.	Estudio Integral de Riego de los Valles Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca. CICA, 1982	2-10
2.1.2.	Estudios de Recursos Hídricos e Hidrología	2-11
2.1.2.1.	Estudio de Operación y Reparto de Aguas, Valle del Aconcagua. DOH-Conic BF, 2005	2-11
2.1.2.2.	Plan Director Para la Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Aconcagua. AC Ingenieros Consultores, 2000	2-12
2.1.2.3.	Catastro de Usuarios de Agua de la Segunda Sección del Río Aconcagua y Canal el Melón V Región. REG Ingenieros Ltda.- DGA, 1989	2-13
2.1.2.4.	Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Aconcagua, Informe Técnico S.D.T. 165. DGA, 2004	2-14
2.1.2.5.	Informe de Canales de Riego y Aforos de la Cuenca de la Segunda Sección del Río Aconcagua, Provincia de San Felipe. Alberto Undurraga, 1998	2-14
2.1.2.6.	Balance Hídrico de Chile. DGA, 1987	2-15
2.1.3.	Estudios de Carácter Agronómico	2-15
2.1.3.1.	Atlas Agroclimático de Chile: Regiones V y Metropolitana. Universidad de Chile, 1993	2-15
2.1.3.2.	Descripciones de Suelos. Estudio Agrológico V Región. CIREN, 1997	2-15

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
2.1.3.3.	Clasificación de las Explotaciones Agrícolas del VI Censo Nacional Agropecuario Según Tipo de Productor y Localización Geográfica. ODEPA, 2000	2-16
2.1.3.4.	Cálculo de Superficie Regada por Medio de Tecnología de Sensores Remotos. CNR-Centro de Estudios Espaciales, 2004	2-17
2.1.3.5.	Análisis General del Impacto Económico de Normas de Calidad de Aguas del Río Aconcagua en el sector Silvoagropecuario. Geográfica, 2005	2-17
2.1.3.6.	Compendio Estadístico Silvoagropecuario 1990-2004. ODEPA, 2007	2-18
2.1.3.7.	Información Estadística Censo Agropecuario 1997 y 2007. INE, 1997-2007	2-18
2.1.3.8.	Catastro Frutícola: Principales Resultados. Región de Valparaíso. CIREN, 2008	2-19
2.1.3.9.	Catastro Vitícola Nacional 2009. SAG, 2009	2-19
2.1.3.10.	Determinación y Evaluación de Fragilidad de Laderas en la Cuenca de Casablanca y en las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Petorca, La Ligua y Aconcagua, V Región. SAG-CIREN, 2007	2-20
2.1.4.	Estudios de Carácter Ambiental	2-21
2.1.4.1.	La Vegetación Natural de Chile. Gajardo, 1994	2-21
2.1.4.2.	Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. CONAF-CONAMA, 1999	2-21
2.1.4.3.	Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Aconcagua. DGA-CADE-IDEPE, 2004	2-22
2.1.4.4.	Estrategia Regional de Biodiversidad Región de Valparaíso. CONAMA V Región, 2005	2-22
2.1.4.5.	Desarrollo de una Metodología para la Evaluación y Mitigación de la Contaminación de Aguas y Suelo: Aplicación a la Cuenca del Río Aconcagua. SAG-Universidad Mayor, 2005	2-22
2.1.4.6.	Sinopsis Bioclimática de Chile. Pliscoff y Luebert, 2006	2-24
2.1.4.7.	Anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Aconcagua. CONAMA, 2008	2-25
2.1.4.8.	Determinación de Erosión Actual y Fragilidad de Suelos en la V Región Utilizando Datos Satelitales y SIG. CIREN-CORFO, 2009	2-25

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
2.1.5.	Estudios Varios	2-26
2.1.5.1.	Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial de Chile. CNR-CIREN, 1997	2-26
2.1.5.2.	Sistema Integral de Riego Electrónico (e-SIIR). CNR, 2002	2-27
2.1.5.3.	Mapa de Propiedades Rurales S.I.I., Actualización 1997-2007. CIREN, 1997-2007	2-27
2.1.5.4.	Plan Regulador Comunal (PRC) Propuesto. Municipalidad de Catemu - JL Consultores, 2010	2-28
2.2.	ANTECEDENTES CARTOGRÁFICOS Y ESPACIALES	2-29
2.3.	ANTECEDENTES AGROECONÓMICOS	2-30
2.3.1.	Antecedentes Agroclimáticos	2-30
2.3.2.	Antecedentes Agrológicos	2-31
2.3.3.	Antecedentes Sobre la Propiedad Agrícola, Uso del Suelo y Otros Aspectos Agroeconómicos	2-31
2.4.	ANTECEDENTES SOBRE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS Y ASPECTOS LEGALES	2-31
2.5.	ANTECEDENTES AMBIENTALES	2-32
2.5.1.	Antecedentes Sobre Calidad de Aguas	2-32
2.5.2.	Antecedentes Sobre Biodiversidad	2-32
2.6.	Antecedentes Hidrológicos	2-33
2.6.1.	Antecedentes Pluviométricos	2-34
2.6.2.	Antecedentes Fluviométricos	2-35
2.6.3.	Modelo MOS Aconcagua	2-37
2.7.	ANTECEDENTES TOPOGRÁFICOS	2-38
2.7.1.	Estudio Mejoramiento Canales Catemu; V Región. Electrowatt, 2000	2-38
2.7.2.	Proyecto Embalse de Regulación para el Río Aconcagua. EDIC, 2001	2-39
2.8.	ANTECEDENTES SOBRE MECÁNICA DE SUELOS	2-39
2.8.1.	Estudio Procivil (1996)	2-39
2.8.2.	Estudio Electrowatt (2000)	2-40
2.9.	ANÁLISIS TOPOGRAFÍA EXISTENTE	2-40
2.9.1.	Resumen de Antecedentes Topográficos Preliminares	2-40
2.9.2.	Reconocimiento en Terreno de Antecedentes Preliminares	2-43
2.10.	Análisis ANTECEDENTES Mecánica de suelos DISPONIBLES	2-46
2.10.1.	Análisis Estudio Procivil 1996	2-46
2.10.1.1.	Propiedades del Suelo de Fundación	2-46
2.10.1.2.	Estratigrafía	2-48

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
2.10.1.3.	Modelación Para Análisis de Estabilidad de Taludes	2-49
2.10.2.	Análisis Estudio Electrowatt 2000	2-50
2.10.2.1.	Introducción	2-50
2.10.2.2.	Estratigrafía	2-51
2.10.3.	Cartografía con los Pozos y Calicatas Recopilados	2-61
3.	**ESTUDIOS DE TERRENO**	**3-1**
3.1.	GENERALIDADES	3-1
3.2.	TOPOGRAFÍA	3-1
3.2.1.	Introducción	3-1
3.2.2.	Presentación de Resultados	3-1
3.2.3.	Resumen Listado de PR's Densificados Zona La Ligua - Catemu	3-2
3.2.4.	Conclusiones	3-3
3.3.	MECÁNICA DE SUELOS	3-4
3.3.1.	Introducción	3-4
3.3.2.	Antecedentes Utilizados	3-4
3.3.3.	Geología	3-5
3.3.3.1.	Generalidades	3-5
3.3.3.2.	Antecedentes Geomorfológicos y Geológicos Generales	3-6
3.3.3.3.	Geología Puntilla Las Máquinas	3-6
3.3.4.	Descripción de Trabajos de Prospecciones	3-11
3.3.5.	Descripción de Calicatas de Estudios Anteriores	3-15
3.3.6.	Descripción de Prospecciones Realizadas en este Estudio	3-28
3.3.6.1.	Calicatas en el Trazado del Canal	3-28
3.3.6.2.	Calicatas para Empréstito (en Sector Bocatoma)	3-29
3.3.7.	Exploración Geofísica	3-29
3.3.7.1.	Descripción de los Trabajos	3-29
3.3.7.2.	Presentación de Resultados	3-30
3.3.8.	Sondajes en Bocatoma	3-36
3.3.9.	Modelo Estratigráfico de Sectores Relevantes	3-38
3.3.10.	Propiedades mecánicas de los Suelos de Fundación	3-42
3.3.11.	Diagnóstico de Problemas Geotécnicos	3-45
3.3.12.	Capacidad de Soporte de Fundaciones	3-46
3.3.12.1.	Sector Bocatoma	3-46
3.3.12.2.	Capacidad de Soporte de Fundaciones	3-47

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
3.3.12.3.	Sectores Canal Arriba de Catemu desde Bocatoma hasta Km 13,700; Portal de Entrada y Salida Túnel 1; Descarga Vega; Descarga Reinoso; Canal arriba de Catemu Km 13,700 a Km 17,500; Portal de entrada y salida Túnel 2; Canal de Restitución; Aguas abajo de Km 17,500	3-48
3.3.12.4.	Capacidad de soporte de fundaciones	3-49
3.3.13.	Sector Minicentral Hidroeléctrica (MCH)	3-50
3.3.13.1.	Tipo de Fundación y Dimensiones Mínimas	3-50
3.3.13.2.	Capacidad de Soporte de Fundaciones	3-51
3.3.14.	Asentamiento de Fundaciones	3-52
3.3.14.1.	Tipos de Asentamientos	3-52
3.3.14.2.	Asentamiento para Cargas Permanentes	3-52
3.3.14.3.	Asentamiento para Cargas Sísmicas	3-55
3.3.14.4.	Recomendaciones Sobre Asentamientos	3-57
3.3.14.5.	Constantes de Balasto	3-57
3.3.14.6.	Giros de Fundaciones	3-58
3.3.15.	Empujes de Suelo Sobre Muros	3-58
3.3.15.1.	Empuje Sobre Muros que Presentan Restricción al Movimiento	3-58
3.3.15.2.	Empuje Sobre Muros que No Presentan Restricción al Movimiento	3-61
3.3.15.3.	Flotabilidad de Estructuras Enterradas	3-62
3.3.16.	Estabilidad de Taludes	3-63
3.3.16.1.	Cortes en Tramo Entre Bocatoma y Km 13,7 y Km 17,5 en Adelante	3-63
3.3.16.2.	Cortes en Tramo Entre Km 13,7 y Km 17,5	3-63
3.3.16.3.	Taludes Paredes del Canal	3-64
3.3.16.4.	Sostenimiento de Taludes Mediante Refuerzo Mecánico	3-64
3.3.16.5.	Excavaciones Temporales	3-64
3.3.17.	Agotamiento de Napa	3-64
3.3.18.	Recomendaciones de Construcción	3-65
3.4.	ESTUDIO HIDROLÓGICO	3-66
3.4.1.	Caudales Medios Mensuales en Bocatoma	3-69
3.4.2.	Precipitaciones Máximas	3-77
3.4.3.	Estimación de Crecidas en Cruce de Quebradas	3-79
3.4.3.1.	Formula Racional	3-83
3.4.3.2.	Formula Verni-King	3-85
3.4.3.3.	Conclusión de Caudales Máximos asociados a Cruces de Quebradas	3-86
3.4.4.	Caudales Máximos en Bocatoma	3-88

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
3.4.5.	Estudio de Afloramientos	3-90
3.4.5.1.	Generalidades	3-90
3.4.5.2.	Antecedentes de Caudales de Afloramientos	3-91
3.4.6.	Campañas de Aforo Río Aconcagua y Vertientes	3-97
3.4.7.	Comentarios y Recomendaciones	3-100
3.5.	ESTUDIO DE DERECHOS DE AGUA Y ASPECTOS LEGALES	3-101
3.5.1.	Generalidades	3-101
3.5.2.	Jurisdicción y Derechos Constituidos	3-106
3.5.2.1.	Canales Arriba y Abajo de Catemu	3-106
3.5.2.2.	Canal Pepino o Huidobro	3-110
3.5.2.3.	Proyectos de Parcelación	3-111
3.5.3.	Organizaciones de Usuarios	3-113
3.5.3.1.	Constitución y Reconocimiento	3-113
3.5.3.2.	Directivas y Administración	3-115
3.5.4.	Régimen de Turnos	3-117
3.5.5.	Consideraciones Legales	3-118
3.5.6.	Síntesis de Resultados	3-120
3.5.7.	Factibilidad de Ejecución del Proyecto Bajo el Estado Actual de los Derechos de Aprovechamiento	3-121
3.5.8.	Procedimientos Legales a Seguir para su Consecución	3-123
3.5.9.	Requisitos y Procedimiento de Tramitación para Materializar el Cambio de Punto de Captación de los Derechos de Aprovechamiento de los Canales Bajo y Pepino	3-124
3.5.10.	Compatibilidad de los Derechos de Aprovechamiento de los Canales con el Proyecto Hidroeléctrico	3-127
3.5.11.	Compatibilidad del Proyecto con el Pago de Patente por No Uso de las Aguas	3-127
3.5.12.	Eventuales Limitantes Legales para las Organizaciones de Usuarios (de Intervenir en la Generación de Hidroelectricidad	3-128
3.6.	DIAGNÓSTICO DE INFRAESTRUCTURA	3-129
3.6.1.	Planteamiento de la Problemática	3-129
3.6.2.	Diagnóstico Infraestructura	3-131
3.6.2.1.	Fichas	3-131
3.6.2.2.	Diagrama Unifilar	3-135

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
3.6.2.3.	Resumen de Infraestructura Catastrada	3-141
3.6.3.	Conclusiones del Catastro y Diagnóstico	3-149
3.7.	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ACTUAL DE LOS CANALES ARRIBA Y ABAJO DE CATEMU	3-150
3.7.1.	Generalidades	3-150
3.7.2.	Parámetros Necesarios Para Evaluación de la Capacidad	3-151
3.7.3.	Antecedentes	3-151
3.7.3.1.	Rugosidad	3-151
3.7.3.2.	Tramos restrictivos de capacidad	3-153
3.7.3.3.	Catastro	3-154
3.7.4.	Modelación del Eje Hidráulico	3-154
3.7.4.1.	Bases de Cálculo	3-154
3.7.4.2.	Criterios de Simulación Adoptados	3-156
3.7.5.	Resultados	3-157
4.	**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS**	**4-1**
4.1.	GENERALIDADES	4-1
4.2.	PROBLEMÁTICA	4-2
4.3.	PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS	4-4
4.3.1.	Generalidades	4-4
4.3.2.	Análisis de Alternativas Desarrolladas en Estudios Anteriores	4-4
4.3.2.1.	Proyecto Túnel Salesianos. Galleguillos Stowhas, Ingenieros Civiles, 1987	4-4
4.3.2.2.	Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Canales Catemu; Comuna de Catemu, V Región. Procivil, 1996	4-5
4.3.2.3.	Estudio de Factibilidad y Diseño Mejoramiento Canales Catemu; V Región. Electrowatt, 2000	4-8
4.3.2.4.	Estudio de Perfil: Proyecto de Unificación de Bocatomas y Multiuso de Aguas de Canales: Arriba de Catemu; Abajo de Catemu y Pepino. V Región. Procivil, 2009	4-10
4.3.2.5.	Perfil de Proyecto para Generación Hidroeléctrica: Descarga desde Canal Arriba de Catemu a Canal Debajo de Catemu y a Canal Pepino o Huidobro. Procivil, 2009	4-11
4.3.2.6.	Análisis de Alternativas Propuestas en Estudios Anteriores	4-12
4.3.3.	Alternativas a Desarrollar	4-14
4.3.3.1.	Generalidades	4-14

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
4.3.3.2.	Alternativas	4-14
4.3.3.3.	Resumen de Obras por Alternativas	4-17
4.3.3.4.	Hidrogeneración	4-29
4.4.	ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL CAUDAL A TRANSPORTAR	4-29
4.4.1.	Generalidades	4-29
4.4.2.	Derechos Disponibles por Canal	4-30
4.4.3.	Caudales por Alternativa	4-30
4.4.4.	Caudales Definidos por Escenario	4-34
4.5.	DISEÑOS SIMPLIFICADOS E INVERSIONES TOTALES	4-50
4.5.1.	Generalidades	4-50
4.5.2.	Caudales y Longitudes de Diseño	4-53
4.5.3.	Diseños Simplificados y Estimación de Inversiones Totales Para Obras de Riego	4-57
4.5.3.1.	Instalación de Faenas y Obras Provisionales	4-57
4.5.3.2.	Canal de Acceso y Bocatoma Unificada	4-58
4.5.3.3.	Desarenador	4-58
4.5.3.4.	Construcción de Túneles	4-59
4.5.3.5.	Prediseño de Canales	4-61
4.5.3.6.	Movimiento de Tierras	4-67
4.5.3.7.	Descargas de Aguas Lluvias	4-69
4.5.3.8.	Rápido de Descarga y Canal de Restitución	4-72
4.5.3.9.	Obras Anexas	4-73
4.5.3.10.	Expropiaciones	4-74
4.5.4.	Diseños Simplificados y Estimación de Inversiones Totales Para MCH	4-74
4.5.4.1.	Generalidades	4-74
4.5.4.2.	Consideraciones Comunes para el Diseño de las MCH	4-75
4.5.4.3.	Características Principales para el Diseño de las MCH	4-77
4.5.4.4.	Instalación de Faenas y Obras Provisionales	4-78
4.5.4.5.	Estimación de Costos Con Fórmulas Tipo Williams	4-78
4.5.5.	Presupuesto de las Alternativas	4-81
4.6.	ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL	4-89
4.7.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS DE HIDROGENERACIÓN	4-92
4.7.1.	Generalidades	4-92
4.7.2.	Indicadores de Rentabilidad	4-92
4.7.3.	Costos	4-92

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
4.7.4.	Beneficios	4-93
4.7.4.1.	Generalidades	4-93
4.7.4.2.	Beneficios Derivados de la Generación Hidroeléctrica	4-93
4.7.5.	Resultados y Análisis de la Evaluación Económica	4-94
5.	**ESTUDIO AGROECONÓMICO**	**5-1**
5.1.	INTRODUCCIÓN	5-1
5.2.	ÁREA DE INFLUENCIA Y SECTORES DE RIEGO	5-1
5.3.	ASPECTOS CLIMÁTICOS	5-1
5.4.	ASPECTOS AGROLÓGICOS	5-3
5.5.	CATASTRO DE REGANTES Y DERECHOS DE AGUAS	5-4
5.5.1.	Listado de Agricultores y Predios	5-4
5.6.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL AGROPECUARIA	5-4
5.6.1.	Estructura de la Propiedad Agrícola	5-4
5.6.2.	Encuesta Agropecuaria y Estudios de Caso	5-6
5.6.3.	Resultados Situación Actual Agropecuaria	5-7
5.7.	SITUACIÓN FUTURA SIN PROYECTO	5-8
5.8.	SITUACIÓN FUTURA CON PROYECTO	5-10
5.8.1.	Caracterización Productiva	5-10
5.8.2.	Inversiones Intraprediales	5-15
5.9.	DEMANDAS DE AGUA	5-18
5.10.	PROGRAMA DE ASISTENCIA TÉCNICA Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA	5-19
5.10.1.	Situación Futura Sin Proyecto	5-19
5.10.2.	Situación Futura Con Proyecto	5-21
5.11.	BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTo	5-23
5.11.1.	Beneficios Económicos Directos	5-23
5.11.2.	Generación de Empleo Agrícola	5-31
6.	**MODELO DE SIMULACION SISTEMA DE RIEGO CATEMU**	**6-1**
6.1.	OBJETIVOS	6-1
6.2.	DESCRIPCION DEL MODELO	6-1
6.3.	INFORMACION UTILIZADA	6-3
6.4.	SECUENCIA DE CÁLCULO DEL MODELO	6-11
6.5.	RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS	6-12

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
7.	**PREDISEÑO DE OBRAS**	**7-1**
7.1.	GENERALIDADES	7-1
7.2.	SOLUCIÓN DEFINITIVA	7-1
7.2.1.	Introducción	7-1
7.2.2.	Bocatoma Canal Unificado	7-1
7.2.3.	Ampliación y Mejoramiento del Canal Unificado y del Canal Arriba de Catemu	7-2
7.2.4.	Mejoramiento del Canal Abajo de Catemu	7-3
7.2.5.	Descargas de Agua Lluvia	7-3
7.2.6.	Entregas a Riego en Nuevo Canal	7-4
7.2.7.	Otras Obras en el Canal	7-5
7.2.8.	Obra de Entrega Desde Canal Unificado a Canales Abajo Catemu y Pepino	7-5
7.2.9.	Ampliación y Mejoramiento de Túneles N°1 Y N°2	7-5
7.2.10.	Minicentral Hidroeléctrica (MCH)	7-6
7.3.	BASES DE DISEÑO	7-8
7.3.1.	Caudal de Diseño	7-8
7.3.2.	Bases de Diseño Hidráulico	7-9
7.3.2.1.	Dimensionamiento del Canal	7-9
7.3.2.2.	Revestimiento y Sección de Canal	7-10
7.3.2.3.	Pendientes	7-10
7.3.2.4.	Minicental Hidroeléctrica	7-11
7.3.3.	Recomendaciones de Mecánica de Suelos	7-11
7.3.3.1.	Capacidad de Soporte de Fundaciones	7-11
7.3.3.2.	Asentamiento de Fundaciones	7-12
7.3.3.3.	Estabilidad de Taludes	7-12
7.3.3.4.	Agotamiento de Napa	7-14
7.3.3.5.	Recomendaciones de Construcción	7-14
7.3.4.	Bases de Diseño Estructural	7-16
7.3.4.1.	Introducción	7-16
7.3.4.2.	Enfierradura	7-16
7.3.4.3.	Recubrimientos	7-16

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
7.3.4.4.	Túneles	7-16
7.4.	DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE REVESTIMIENTO DE CANALES	7-17
7.4.1.	Generalidades	7-17
7.4.2.	Alternativa de Diseño de Canales Unificado y MCH	7-17
7.4.2.1.	Materiales	7-17
7.4.2.2.	Caudal de Diseño	7-18
7.4.3.	Selección de Materiales	7-18
7.4.3.1.	Canal Unificado entre Km 0,00 y 13,70	7-19
7.4.3.2.	Canal Unificado entre Km 13,70 y 16,05, y Canal Arriba de Catemu entre Km 16,05 y 17,8	7-20
7.4.3.3.	Canal Abajo de Catemu entre Km 16,05 y 17,8	7-21
7.4.4.	Caudal de Diseño	7-21
7.4.4.1.	Cubicación y Costo de Obras de Riego para Distintos Caudales	7-22
7.4.4.2.	Costo Minicentral Hidroeléctrica para Distintos Caudales	7-26
7.4.4.3.	Beneficios	7-27
7.4.4.4.	Evaluación Económica Simplificada	7-27
7.4.4.5.	Selección de Caudal de Diseño	7-29
7.5.	ESTIMACIÓN DE SOCAVACIÓN EN BOCATOMA	7-29
7.5.1.	Introducción	7-29
7.5.2.	Caudal para la Estimación de la Socavación	7-30
7.5.2.1.	Bocatoma	7-30
7.5.2.2.	Compuertas de Descarga	7-30
7.5.3.	Eje Hidráulico del Río Aconcagua	7-30
7.5.4.	Granulometría	7-32
7.5.5.	Calculo de Socavación en Bocatoma	7-35
7.5.5.1.	Introducción	7-35
7.5.5.2.	Socavación General	7-35
7.5.5.3.	Socavación Local	7-40
7.5.6.	Socavación al Pie de Compuertas de Descarga	7-42
7.5.6.1.	Generalidades	7-42
7.5.6.2.	Metodología	7-43

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
7.5.6.3.	Datos del Problema	7-44
7.5.6.4.	Criterios de cálculo	7-45
7.5.6.5.	Cálculos y Resultados	7-45
7.5.7.	Sondajes en bocatoma	7-46
7.5.8.	Resumen de Resultados y Conclusiones	7-46
7.6.	DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS	7-48
7.6.1.	Ecuaciones y Relaciones Utilizadas en el Cálculo	7-48
7.6.1.1.	Eje Hidráulico en Diseño de Canales	7-48
7.6.1.2.	Rugosidad	7-50
7.6.1.3.	Velocidades Admisibles	7-50
7.6.1.4.	Revanchas	7-51
7.6.1.5.	Escurrimiento Subcrítico	7-52
7.6.1.6.	Escurrimiento Supercrítico	7-52
7.6.1.7.	Transiciones	7-52
7.6.1.8.	Diseño de Compuertas	7-53
7.6.1.9.	Aforadores	7-60
7.6.1.10.	Rápidos de Conducción y Disipadores	7-64
7.6.1.11.	Disipador de Energía de Grada Vertical	7-65
7.6.1.12.	Dimensionamiento de Compuertas de Entrega	7-66
7.6.2.	Resumen del Diseño de Obras	7-67
7.6.2.1.	Dimensionamiento Canal Matriz Unificado y Canal del Alto	7-67
7.6.2.2.	Dimensionamiento Canal Abajo de Catemu	7-69
7.6.2.3.	Dimensionamiento de Bocatoma, Compuerta de Admisión y Descarga	7-69
7.6.2.4.	Dimensionamiento de las Descargas al Río Km 5,51	7-69
7.6.2.5.	Dimensionamiento de la Descarga al Río Km 8,97 - Reinoso	7-70
7.6.2.6.	Dimensionamiento de la Entrega a Canales Abajo Catemu y Pepino Km 5,75	7-71
7.6.2.7.	Dimensionamiento de las Entregas a Riego	7-72
7.6.3.	Prediseño de la Minicentral y Sus Obras Anexas	7-72
7.7.	PREDISEÑO ESTRUCTURAL	7-73
7.7.1.	Criterios de Diseño	7-73
7.7.1.1.	Generalidades	7-73

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
7.7.1.2.	Campo de Aplicación	7-73
7.7.1.3.	Unidades	7-73
7.7.1.4.	Cálculos	7-73
7.7.1.5.	Normas, Documentos de Referencia y Textos de Consulta	7-73
7.7.1.6.	Materiales	7-74
7.7.1.7.	Recubrimientos y Armaduras Mínimas	7-74
7.7.1.8.	Método de Cálculo Estructural	7-75
7.7.1.9.	Parámetros Geomecánicos del Suelo	7-75
7.7.1.10.	Cargas a Considerar para el Diseño de Canales y Obras de Arte	7-76
7.7.2.	Cargas a considerar	7-76
7.7.3.	Combinaciones de Carga	7-77
7.7.4.	Verificación de Estabilidad y Cuantías de Acero	7-78
7.7.4.1.	Estabilidad de Compuertas de Descarga	7-78
7.7.4.2.	Estimación de Cuantías de Acero	7-78
7.8.	Proyecto de Minicentral hidroeléctrica	7-78
7.8.1.	Descripción de la Solución Adoptada	7-78
7.8.2.	Dimensionamiento, Selección y Optimización	7-81
7.8.2.1.	Determinación de Caudales Turbinables	7-81
7.8.2.2.	Generación Hidroeléctrica	7-82
7.8.3.	Especificaciones Técnicas Equipamiento	7-87
7.8.3.1.	Especificaciones Técnicas Generales	7-87
7.8.3.2.	Especificaciones Técnicas Especiales	7-88
7.8.3.3.	Trámites y Permisos Administrativos y Ambientales	7-95
7.8.4.	Conexión Eléctrica	7-96
7.8.4.1.	Generalidades	7-96
7.8.4.2.	Proyecto de Interconexión Eléctrica	7-97
7.8.5.	Modelo de Negocios	7-112
7.8.5.1.	Resumen General	7-112
7.8.5.2.	El Sector Eléctrico Chileno	7-113
7.8.5.3.	Marco Institucional del Sector Eléctrico	7-115
7.8.5.4.	Modelo de Mercado Eléctrico	7-120
7.8.5.5.	Ley de Energías Renovables No Convencionales (LEY Nº 20257)	7-127

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
7.8.5.6.	Definición de Medios de Generación de ERNC	7-29
7.8.5.7.	Marco de Regulación para las ERNC	7-31
7.8.5.8.	Descripción General de Alternativas de Comercialización para un Generador a través de ERNC	7-33
7.8.5.9.	Venta de Energía en el Mercado Spot	7-34
7.8.5.10.	Alternativas de Comercialización para un Generador a Través de ERNC	7-37
8.	**INTERFERENCIAS Y EXPROPIACIONES**	**8-1**
8.1.	GENERALIDADES	8-1
8.2.	INTERFERENCIAS	8-1
8.2.1.	Descripción	8-1
8.2.2.	Atravieso de Rutas	8-2
8.3.	EXPROPIACIONES	8-3
9.	**PRECIOS UNITARIOS, CUBICACIONES Y PRESUPUESTOS**	**9-1**
9.1.	GENERALIDADES	9-1
9.2.	PRECIOS UNITARIOS	9-1
9.2.1.	Generalidades	9-1
9.2.2.	Análisis de Precios Unitarios Obras de Riego	9-1
9.2.3.	Precios Unitarios MCH	9-2
9.3.	CUBICACIÓN Y PRESUPUESTO OBRAS DE RIEGO	9-5
9.4.	RESUMEN PRESUPUESTO MCH	9-9
10.	**ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL**	**10-1**
10.1.	INTRODUCCIÓN	10-1
10.2.	OBJETIVO Y ALCANCE DEL EAA	10-1
10.2.1.	Objetivo General	10-1
10.3.	CONTENIDO DEL EAA	10-1
10.4.	RESULTADOS PRINCIPALES DEL ESTUDIO	10-2
10.4.1.	Análisis de Pertinencia de Ingreso al SEIA	10-2
10.4.2.	Evaluación de Impactos Ambientales	10-3
10.4.3.	Medidas Ambientales y Costos Asociados	10-4
10.4.4.	Estudios Recomendados para Etapas Posteriores	10-5
10.4.5.	Conclusiones	10-6

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
11.	**EVALUACIÓN ECONÓMICA**	**11-1**
11.1.	INTRODUCCIÓN	11-1
11.2.	INDICADORES DE RENTABILIDAD	11-1
11.3.	MÉTODOS DE EVALUACIÓN	11-2
11.4.	ESCENARIOS DE EVALUACIÓN	11-2
11.5.	COSTOS	11-3
11.5.1.	Introducción	11-3
11.5.2.	Costo de las Obras de Riego	11-4
11.5.3.	Costos de la Minicentral Hidroeléctrica	11-6
11.5.4.	Costos Ambientales	11-6
11.5.5.	Expropiaciones	11-7
11.5.6.	Costos de Operación	11-7
11.6.	BENEFICIOS	11-8
11.6.1.	Generalidades	11-8
11.6.2.	Beneficios Derivados del Riego	11-8
11.6.3.	Beneficios Derivados de la Generación Hidroeléctrica	11-15
11.6.4.	Beneficios por Disminución del Daño por Siniestros	11-16
11.6.5.	Beneficio Asociado el Valor Incremental de la Tierra	11-17
11.6.6.	Beneficio Asociado a las Transacciones de los Derechos de Aguas	11-20
11.7.	EVALUACIÓN ECONÓMICA EN EL ÁREA DE ESTUDIO	11-21
11.7.1.	Introducción	11-21
11.7.2.	Resultados	11-21
11.8.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	11-23
11.9.	OTROS INDICADORES Y EXTERNALIDADES	11-24
11.10.	RECOMENDACIÓN DEL PROYECTO	11-26
12.	**PARTICIPACIÓN CIUDADANA**	**12-1**
12.1.	INTRODUCCIÓN	12-1
12.2.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	12-1
12.3.	DIAGNÓSTICO DEL TERRITORIO	12-2
12.3.1.	Análisis de Actores Relevantes en el Territorio	12-4
12.4.	IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ACTORES RELEVANTES	12-4
12.4.1.1.	Identificación y Caracterización de Actores	12-5
12.4.1.2.	Disposición Frente al Proyecto	12-6

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA

ÍNDICE

Acápite	Descripción	#
12.5.	SISTEMATIZACIÓN DEL DESARROLLO DEL PLAN DE PARTICIPACIÓN	12-7
12.5.1.	Reuniones y talleres	12-7
12.5.1.1.	Actividades iniciales	12-7
12.5.1.2.	Primera Reunión Ampliada de Participación Ciudadana	12-7
12.5.1.3.	Segundo Taller de Trabajo con Dirigentes	12-8
12.5.1.4.	Segunda Reunión Ampliada de Participación Ciudadana	12-8
12.5.1.5.	Tercera Reunión Ampliada de Participación Ciudadana	12-9
12.6.	CONSIDERACIONES GENERALES	12-10
12.7.	ANÁLISIS DEL PROCESO PAC Y PRINCIPALES CONCLUSIONES	12-11
12.8.	CONSIDERACIONES MÍNIMAS PARA ETAPAS FUTURAS	12-13
13.	**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**	**13-1**
13.1.	CONCLUSIONES	13-1
13.2.	RECOMENDACIONES	13-6

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA
ANEXOS

ÍNDICE

#	Descripción	Tipo
3-1	Ensayos de Laboratorio Calicatas	Impreso
3-2	Ensayos de Laboratorio de Pozos Para Empréstito	Impreso
3-3	Informe Exploraciones Geofísicas	Impreso
3-4	Informe de Sondajes en Bocatoma	Impreso
3-5	Resultados Computacionales de Análisis de Estabilidad de Taludes	Digital
3-6	Caudales Medios Mensuales	Digital
3-7	Modelos de Simulación en Bocatoma Catemu	Digital
3-8	Caudales Medios Sector Bocatoma	Digital
3-9	Curvas de Variación Estacional	Digital
3-10	Precipitaciones Máximas	Digital
3-11	Álbum Fotográfico Quebradas	Digital
3-12	Caudales Máximos Quebradas	Digital
3-13	Caudales Máximos en San Felipe	Digital
3-14	Estudio Afloramientos	Digital
3-15	Aforos Río Aconcagua 2011	Impreso
3-16	Derechos de Aguas	Digital
3-17	Documentos SAG	Digital
3-18	Listado de Usuarios	Digital
3-19	Acuerdos Organizaciones	Digital
3-20	Fichas Catastro	Digital
3-21	Simulación HEC-RAS Canales Arriba y Abajo de Catemu - Sit. Actual	Digital
3-22	Capacidad Actual de Canales Arriba y Abajo de Catemu	Digital
4-1	Estadísticas de Caudales	Digital
4-2	Diseño de Canales	Digital
4-3	Movimientos de Tierra	Digital
4-4	Análisis de Alternativas	Digital
6-1	Modelo Simulación Operacional	Digital
7-1	Análisis de Alternativa de Materiales	Digital
7-2	Estudio de Obras de Riego	Digital
7-3	Estudio Mini central para Determinar el Caudal Óptimo	Digital
7-4	Evaluación Económica para Determinación de Caudal Óptimo	Digital
7-5	Cálculo de Socavación en Bocatoma	Digital
7-6	Informe Tesis Socavación en Obras Civiles y su Problemática	Digital

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.c.

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
ESTUDIO DE INGENIERÍA
ANEXOS

ÍNDICE

#	Descripción	Tipo
7-7	Memoria de Cálculo Diseño Hidráulico Canal Unificado y Canal Arriba de Catemu	Impreso
7-8	Memoria de Cálculo Diseño Hidráulico Canal Abajo de Catemu	Impreso
7-9	Memoria de Cálculo Diseño Hidráulico Bocatoma Compuerta de Admisión y Descarga	Impreso
7-10	Memoria de Cálculo Diseño Hidráulico Descarga a Rio Aconcagua Km 5,51 - Canal Matriz	Impreso
7-11	Memoria de Cálculo Diseño Hidráulico Descarga a Rio Aconcagua Km 8,97 - Canal Matriz	Impreso
7-12	Memoria de Cálculo Diseño Hidráulico Entrega a Canales Catemu Abajo y Pepino Km 5,75 - Canal Matriz	Impreso
7-13	Memoria de Cálculo Diseño Hidráulico Entregas a Riego	Impreso
7-14	Memoria de Cálculo Prediseño Estructural Muros de Bocatoma, Cámaras de Inspección y Compuertas de Descarga	Impreso
7-15	Memoria de Cálculo Diseño Hidráulico Obras Principales MCH Catemu	Impreso
7-16	Planillas de Generación Hidroeléctrica	Digital
7-17	Procedimiento de Conexión Eléctrica	Impreso
9-1	Presupuesto de Obras de Riego a Precios Privados y Sociales	Digital
9-2	Presupuesto de Minicentral Hidroeléctrica	Digital
11-1	Evaluación Económica	Digital

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS, UBICACIÓN, ANTECEDENTES GENERALES ÁREA DE ESTUDIO Y CONTENIDO INFORME FINAL

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS, UBICACIÓN, ANTECEDENTES GENERALES ÁREA DE ESTUDIO Y CONTENIDO INFORME FINAL

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente Proyecto de "Prefactibilidad Mejoramiento de Canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, Segunda Sección Rio Aconcagua" fue realizadc por esta empresa en virtud de la Resolución C.N.R. Nº22 de 15 de marzo de 2011. El estudio se enmarca dentro del propósito de desarrollo integral que considera el Programa de Obras Medianas de Riego (PROM), mediante la construcción y rehabilitación de obras medianas de riego y la implementación de programas complementarios.

Actualmente, la seguridad de riego para los agricultores de la zona agrícola de la comuna de Catemu, se ve comprometida por una tendencia a la inestabilidad en el trazado de los canales y las frecuentes roturas de los mismos. Existen elevadas pérdidas de agua, alrededor de 50% en la extensa conducción de los canales matrices por ladera de cerro, cuyas longitudes aproximadas corresponden a: canal Catemu Alto 46 km de largo, canal Bajo Catemu 37 km de largo y canal Pepino o Huidobro con una longitud aproximada de 22,4 km. En los 15 primeros kilómetros, estos canales presentan un recorrido en forma paralela.

La vulnerabilidad de la conducción de las aguas se debe a la fuerte tendencia al planchoneo y derrames, especialmente de maicillos y suelo de baja cohesión sobre los cauces de los canales, que junto al exceso de humedad invernal provoca la desestabilización de los taludes y laderas, generándose así el embancamiento que suele derivar en rebalses de los canales con la consiguiente rotura de los bordes, poniendo en riesgo la propiedad agrícola y urbana del pueblo de Catemu.

El área del proyecto cuenta con excelentes condiciones naturales de clima y suelos para el desarrollo de la fruticultura, mercado que actualmente posee cultivos de alta productividad y rentabilidad como por ejemplo: uva de mesa y durazneros conserveros sin embargo, las condiciones actuales de la captación y conducción del agua favorecen las altas pérdidas de ésta, factor que limita la disponibilidad de agua de riego en el estío e impiden un mayor desarrollo de los rubros frutícolas.

La implementación del proyecto permitiría recuperar parte de las pérdidas de agua, especialmente las que se producen en el período de máximas demandas evapotranspirativas. Las obras proyectadas deben tener la finalidad de reducir las pérdidas por infiltración e incrementar la superficie regada y los rendimientos de los actuales cultivos.

La recuperación de agua, con alta seguridad (85%), permitiría incrementar las especies frutales, representadas en la situación futura, también por uva de mesa y

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

durazneros. La distribución de esa agua debe ser proporcional a los derechos de agua y por ende, todos los predios, de cualquier tamaño, recibirán una mayor dotación de agua.

Se efectuó un análisis a nivel de perfil, el cual definió que la mejor alternativa a estudiar a nivel de Prefactibilidad consistia en la unificación de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino o Huidobro. Esta solución contempla construir una obra de captación, aumento de capacidad y revestimiento de 14,5 km de canal, y unidades de distribución hacia los demás canales.

En consecuencia, con este proyecto, se busca principalmente incrementar la eficiencia en el manejo del recurso hídrico para el uso agrícola, mejorando la captación, conducción, distribución y calidad del agua, además de evitar el riesgo sobre la propiedad agrícola y urbana producido por eventuales desbordes de los canales Catemu alto, Catemu bajo y Canal Pepino o Huidobro en la segunda sección del Río Aconcagua.

Junto con lo anterior, existe un interesante potencial hidroeléctrico aprovechable en invierno y verano, para su desarrollo privado, por lo cual con este estudio se pretende incorporar el multiuso del recurso hídrico, identificando y valorando las oportunidades de hidrogeneración asociadas al proyecto de riego.

Se destaca, en todo caso, que el estudio abarca los canales hasta el Km 18, que corresponde aproximadamente al límite de su recorrido con mayores problemas de inestabilidad. No se contempló efectuar diseños más allá, dejándose para un posterior estudio la definición y diseño de obras para mejorar tanto la eficiencia como la capacidad de los canales primarios y secundarios de esta zona.

1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Con este estudio se busca principalmente incrementar la eficiencia en el manejo del recurso hídrico para el uso agrícola, mejorando la captación, conducción, distribución y calidad del agua, además de evitar el riesgo sobre la propiedad agrícola y urbana producido por eventuales desbordes de los canales Catemu Alto, Catemu Bajo y Canal Pepino en la segunda sección del Río Aconcagua.

Incorporando la eficiencia energética aprovechando el potencial hidráulico a través de entregas presurizadas apoyando con esto la tecnificación del riego, así como también el multiuso del recurso hídrico, identificando y valorando las oportunidades de hidrogeneración asociadas al proyecto de riego.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail. oficina@arrauingenieria.cl

1.2.1. Objetivo General

Proponer y evaluar alternativas de mejoramiento para el sistema actual de riego de la comuna de Catemu a través de la unificación de bocatomas y multiuso de las aguas, para los canales Arriba de Catemu; Abajo de Catemu y Pepino.

1.2.2. Objetivos Específicos

Analizar y proponer las obras necesarias para unificar tres canales: Arriba de Catemu; Abajo de Catemu y Pepino.

Incorporación y evaluación del multiuso de las aguas en el sistema de riego de Catemu.

Evaluación técnico-económica y selección de la(s) alternativa(s) que entreguen la mejor solución para el sistema de riego que componen los canales de Catemu.

Prediseño de todas las obras de mejoramiento, identificadas y propuestas en este proyecto, para el sistema de riego de Catemu.

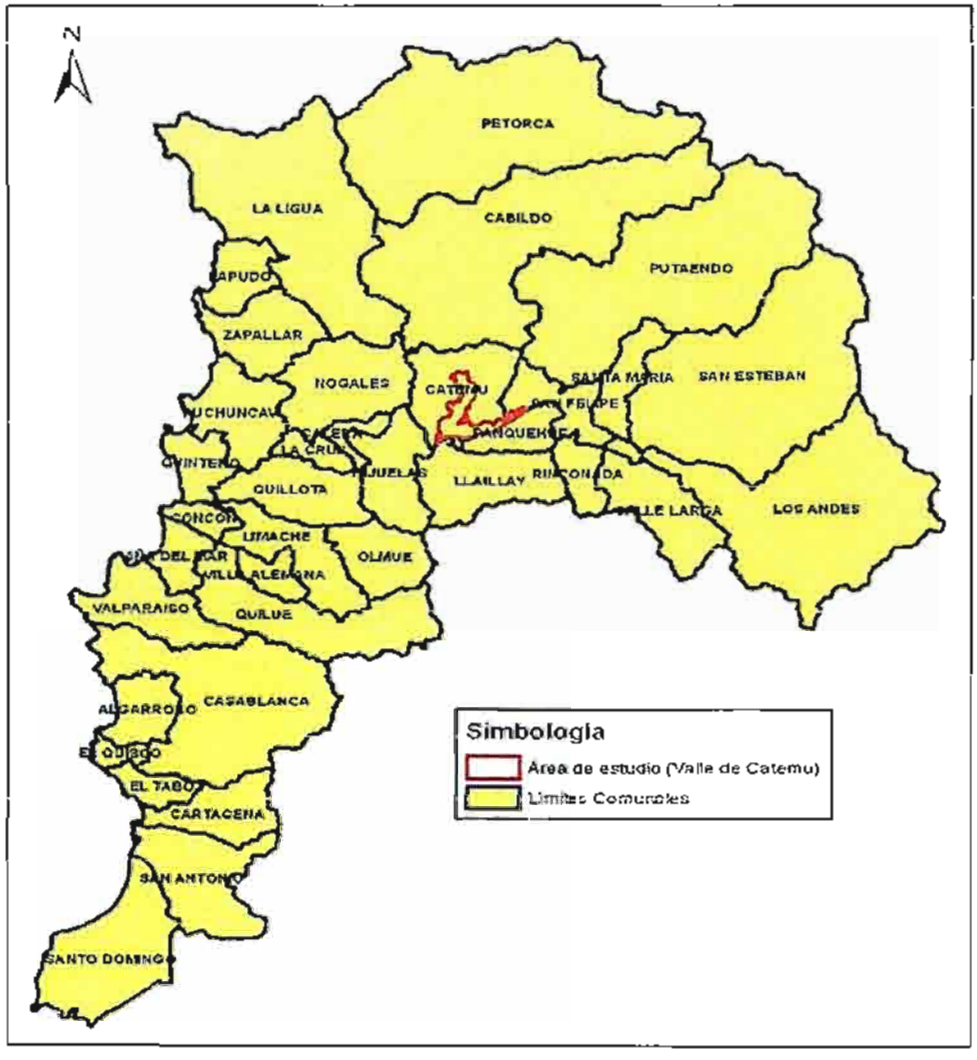
1.3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE PROYECTO

El Valle de Catemu se ubica en la V Región y en la Comuna del mismo nombre. Corresponde específicamente a la zona agricola de la comuna de Catemu. Ubicada a 85 km de Santiago y 95 km del puerto de Valparaiso. Tal como se puede apreciar en la Figura 1.3-1 la comuna de Catemu limita al norte con Cabildo, al oeste con Putaendo, al sur con Panquehue y Llaillay, al este con Hijuelas y Nogales.

El área de estudio propiamente tal se encuentra cubierta por una serie de canales entre los que se pueden señalar: Alto Catemu (47,5 km); Bajo Catemu (27,0 km); Pepiro o Huidobro y otros alimentados directamente desde el estero Catemu, tal como se muestra en la Figura 1.3-2. La superficie abastecida con el recurso agua a través del sistema de Canales descritos alcanza a las 3.620 ha aproximadamente.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

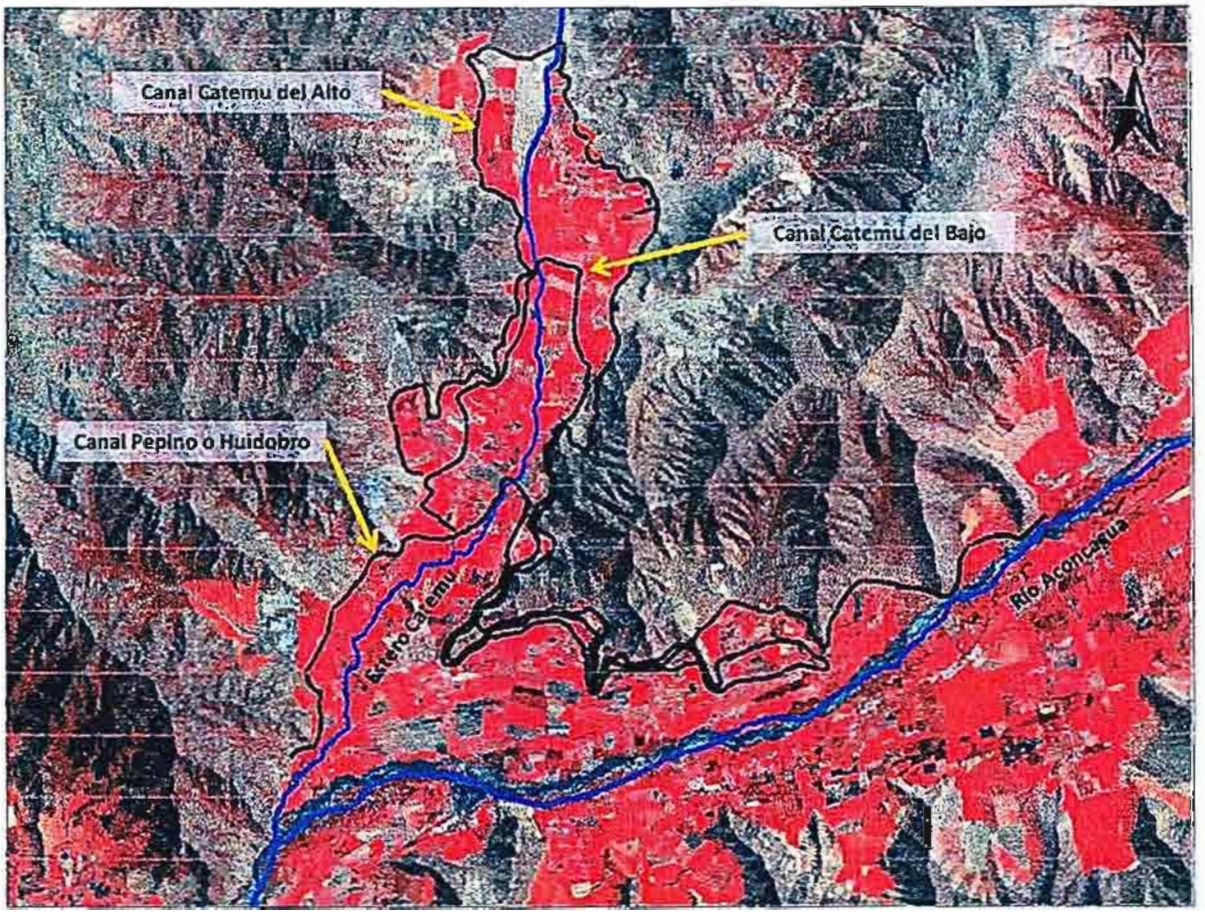
FIGURA 1.3-1
UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia a partir de información e-SIIR

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.3-2
UBICACIÓN RED DE CANALES DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia

1.4. ANTECEDENTES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.4.1. Estructura Política y Administrativa

El área de estudio se encuentra inserta en la comuna de Catemu, Provincia de San Felipe de Aconcagua, Región de Valparaíso. La Capital de la Comuna es la ciudad de Catemu (antiguamente llamada Las Máquinas), y entre los poblados importante se puede destacar, Cerrillos, El Seco, El Cobre, San Carlos, San José, Reinoso, Santa Isabel, Santa Margarita, y Chagres.

La superficie total Comunal alcanza los 361,6 km^2 y su población de 12.112 habitantes.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1.4.2. Características Físicas

1.4.2.1. Relieve Comunal

El valle de Catemu tiene 15 km de longitud, está orientado de norte a sur entre los Altos de Putaendo y Altos de Catemu; el fondo plano de colmatación sedimentaria está recorrido por un estero que drena una extensa cuenca. El valle sigue la orientación y el mismo meridiano (70° 56' 0") que el valle Guayacán, en la vertiente opuesta inclinada hacia el valle de la Ligua, en la cuenca de los Ángeles la que sugiere una relación estructural para ambos valles.

La cuenca de Catemu, posee niveles superiores hacia los 1.500 y 1.200 m, y se componen de taludes casi verticales que cortan las series sedimentarias de las formaciones Veta Negra y las Chilcas más abajo las formas se redondean para terminar hundiéndose en los sedimentos hacia los 400 y 500 m.

Los ríos determinan la morfología de la zona. Los cursos de agua, los valles, terrazas, lomas y serranías, son los principales elementos geomorfológicos de la región, y conforman el valle principal, valles laterales, además de cuencas menores y rinconadas.

A pesar de que la Región de Valparaíso no presenta un valle central definido, es en esta zona, principalmente entre Los Andes y Llay Llay donde se manifiesta claramente una depresión intermedia. La Cuenca del Valle del Aconcagua corta la región y sus principales unidades morfológicas, atraviesa la Cordillera de la Costa y divide la Depresión Intermedia dejando la zona desértica al norte.

1.4.2.2. Geomorfología de las Cuencas de Catemu, El Melón y Nogales

Se debe señalar que las cuencas geomorfológicas de Catemu, El Melón y Nogales son consideradas por diferentes autores una zona límite entre los valles y cordilleras transversales del norte chico, región de Coquimbo, y la gran depresión o valle longitudinal o valle central que se inicia desde los cerros al norte del valle del Aconcagua Chacabuco), llegando hacia zonas extremas del sur de Chile. También son llamadas cuencas transicionales semiáridas estas cuencas de los valles de Catemu, Nogales y El Melón.

Según Borgel (1983), citado en el Plan Regulador Comunal (JL Consultores, 2010), Catemu, El Melón y Nogales constituyen un conjunto de depresiones instaladas al sur del cerro Chache de 2.333 m y sus estribaciones occidentales. Por el sur estas depresiones coalescen con la sedimentación fluvial del río Aconcagua y sus pequeños tributarios septentrionales. En el este un espolón desprendido del cerro Águila separa Catemu de Nogales, en tanto que el Melón se imbrica como un golfo alargado hasta el pie de la cuesta del mismo nombre, conjuntamente con el partimiento septentrional de la cuenta de Nogales.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La parte de la comuna que está influenciada por el río Aconcagua tiene el típico desarrollo geomorfológico dado por períodos de crecidas históricos, con terrazas de diferente antigüedad y suelos con influencias recientes de material transportado por el río. El río Aconcagua es un importante aportador de sedimentos, tema que ha sido estudiado por su importancia para el riego, la regulación y la construcción de embalses. Las cargas y volúmenes de sedimentación de embalses de la cuenca del río Aconcagua y de otras cuencas vecinas al norte del río han sido estudiados. En estos estudios efectuados se han considerado embalses en Putaendo, Puntilla del Viento y Catemu.

El río Aconcagua recibe aguas de diferentes tributarios, entre el sector comprendido entre San Felipe y La Calera, el principal tributario es el estero Catemu, tiene un desarrollo de aproximadamente de 14 km en dirección al sur.

1.4.2.3. Clima y Meteorología

El clima de la zona de Catemu corresponde al tipo general denominado como semiárido mediterráneo, el que se caracteriza por presentar concentradas las precipitaciones en los meses de invierno y los períodos de sequía en verano.

Según el Atlas Agroclimático de Chile para las Regiones V y Metropolitana, desarrollado por la Universidad de Chile (1993), las precipitaciones medias anuales se estiman en unos 419 mm. En cuanto a la temperatura media anual, ésta alcanza los 13,6 ° C.

De acuerdo al Atlas Agroclimático antes mencionado, la Comuna de Catemu corresponde al distrito 65.2, cuyos parámetros son presentados en el Cuadro 1.4.2.3-1.

CUADRO 1.4.2.3-1
PARÁMETROS DEL DISTRITO AGROCLIMÁTICO 65.2

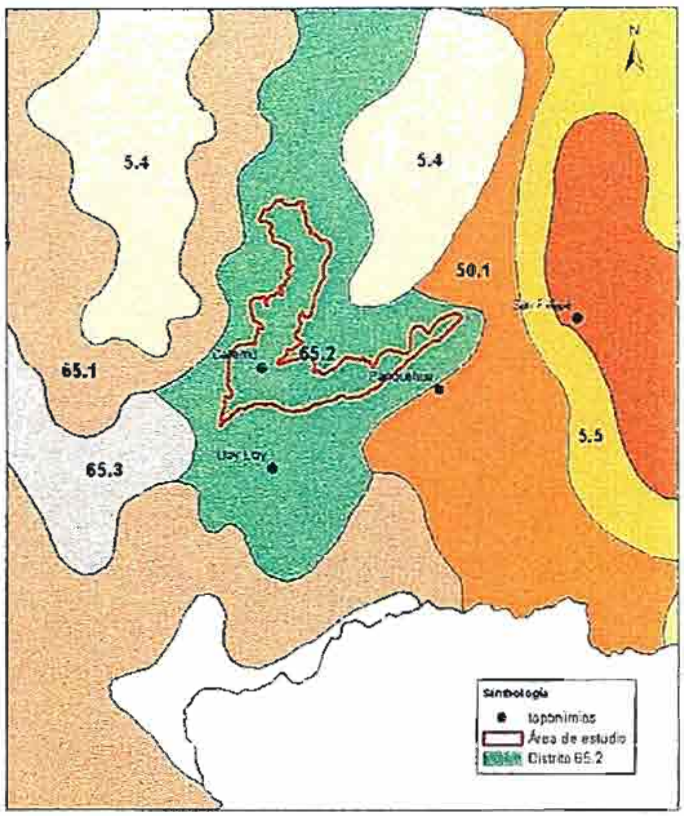
Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura media (°C)	18,7	18	16,2	13,8	11,4	9,6	9	9,2	10,8	13,2	15,8	17,9	13,6
Precipitación (mm)	5,9	6,3	9,6	22,6	77,9	92,5	77,4	64,9	28	16,7	10	7,1	419
Evapotranspiración potencial (mm)	182	171,5	142,7	103,5	64,2	35,5	25	35,5	64,3	103,5	142,8	171,5	1242

Fuente: Atlas Agroclimático de Chile para las Regiones V y Metropolitana, 1993.

La Figura 1.4.2.3-1 presenta los distritos agroclimáticos para la región y el área de estudio.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.4.2.3-1
DISTRITOS AGROCLIMÁTICOS V REGIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Atlas Agroclimático de Chile para las Regiones V y Metropolitana, (Universidad de Chile, 1990). Sistematizado por CNR (SIIR)

1.4.2.4. Hidrografía, Cuencas, y Recursos Hídricos

La hidrografía de la zona está determinada por dos cursos principales de agua, que recorren a los dos correspondientes valles, definiendo el territorio comunal de Catemu. El curso de agua principal en relación a su aporte hídrico, corresponde al Río Aconcagua en su Segunda Sección, el cual define el semi-valle oriental de la Comuna (ribera occidental del río), y transita de oriente a poniente a lo largo de los asentamientos humanos de El Carmen, Santa Isabel, Reinoso, San José, Santa Margarita, San Carlos etc. para finalmente pasar junto a Chagres – bajo el único puente comunal que cruza el Río – junto al acceso principal de la Comuna (Ruta E-65) y seguir su curso hacia el poniente hacia el límite comunal y su encuentro con el Estero de Catemu.

La cuenca del Río Aconcagua, tiene una superficie aproximada de 7.640 km^2. El curso superior se considera hasta la ciudad de Los Andes. El valle medio del Aconcagua, hasta Chagres mide aproximadamente 3 km de ancho, y es de borde muy irregular. A esta altura, el valle se va ensanchando hacia las ciudades de Catemu al sur y Llay Llay al norte, apareciendo vegas y pantanos.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

De acuerdo con la Dirección General de Aguas, el caudal del río fluctúa dependiendo de las variaciones climáticas, tanto precipitaciones, como deshielos. También se aprecian diferencias por su largo curso, el caudal máximo se observa a la altura del Estero San Francisco y es de 0,938 m^3/s. El caudal mínimo se encuentra en la estación Catemu, con un promedio anual de 0,004 m^3/s.

El segundo curso de agua, principal aportante comunal al Río Aconcagua, es el Estero de Catemu, formado en la principal cuenca de la comuna la cual está compuesta por varias subcuencas como se verá más adelante.

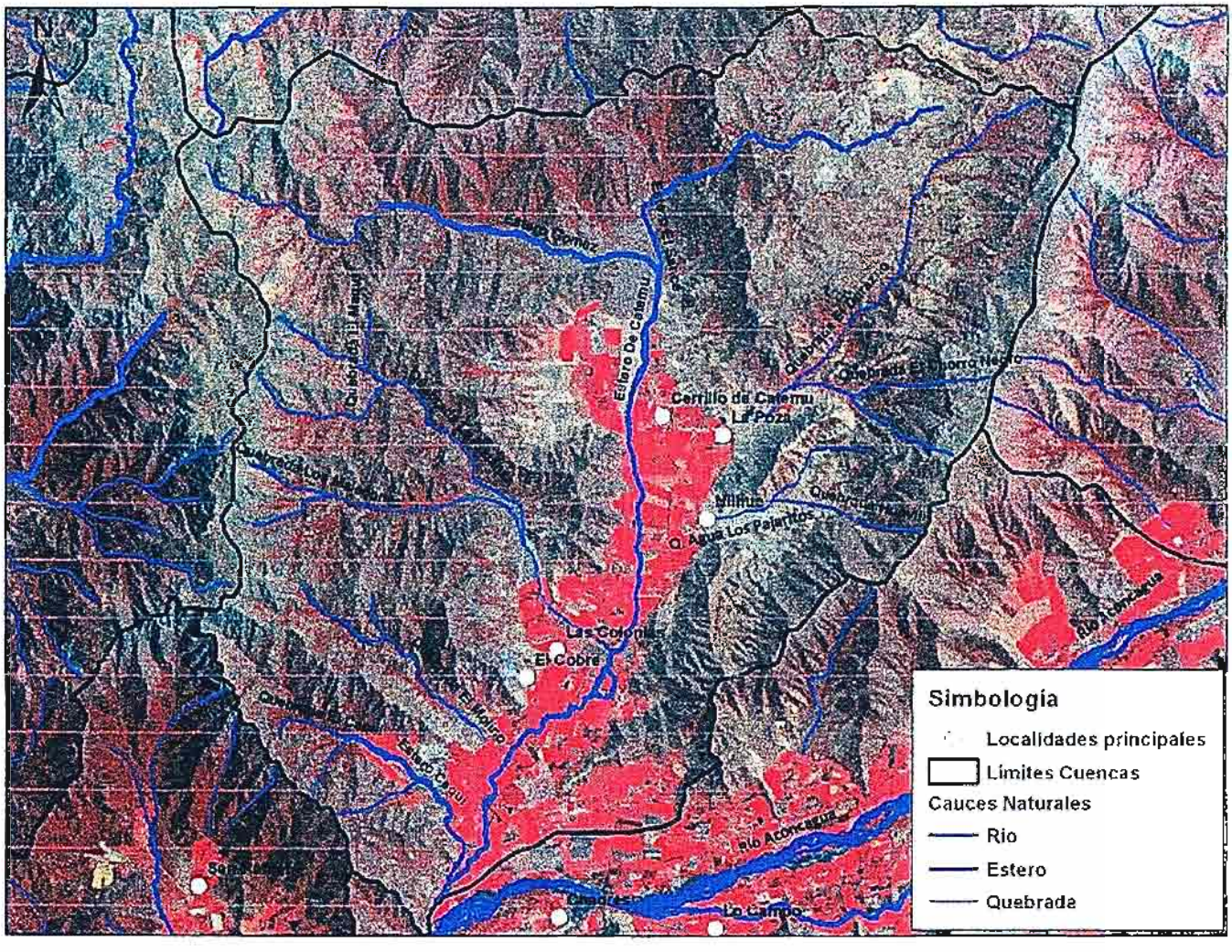
El Estero de Catemu, determina el valle homónimo, el cual posee un desarrollo geográfico de dirección norte – sur, y el que junto al semi valle determinado por el Río Aconcagua, definen el área de ocupación humana en la Comuna. Dicho Estero transita por el eje central del valle junto a los diversos asentamientos ubicados a uno y otro costado del mismo (riberas oriente y poniente). Sobre la ribera oriente se localizan la ciudad de Catemu, y los asentamientos de Las Varillas, Las Compuertas, El Ñilhue, Cerrillos y otros menores. Sobre la ribera poniente, se encuentran los asentamientos de Los Corrales, Santa Ana, El Cobre, La Colonia, El Seco y otros más pequeños. Diversos cursos de agua intermitentes secundarios se desarrollan a lo largo de las principales quebradas, ubicadas al oriente y poniente del valle del estero.

Hacia el oriente predomina la Quebrada del Ñilhue o Quebrada Agua Los Pajaritos (que a su vez se alimenta de la Quebrada Huevil) y en cuyo eje se localizan dos pequeños embalses, (Embalse Cerrillos y Embalse El Ñilhue) vinculados con canales de riego que transitan valle abajo. Esta quebrada es alimentada. Más al norte, las quebradas El Chorro Negro y El Bosquial confluyen al Estero El Durazno, también conocido como el Estero La Poza, que desciende hasta el Estero de Catemu. Hacia el extremo norte de la cuenca, se desarrollan dos importantes Esteros (Estero Gómez y Estero El Sauce), que son los principales aportes del Estero de Catemu.

Hacia el Poniente, se tiene a tres quebradas principales, las cuales definen cuencas, entre ellas Quebrada La Matanza, Quebrada El molino y Quebrada El Caqui, que da origen al Estero Catemu. Todas estas quebradas ubicadas en el sector poniente del Valle de Catemu, nacen a partir de la denominada "Cordillera de El Melón", la cual posee alturas mayores a los 2.000 m.s.n.m., y acumula nieves invernales, las que constituyen importante fuente de agua para el valle. En la Figura 1.4.2.4-1 se aprecia la hidrografía y principales cauces del área de estudio.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.4.2.4-1
PRINCIPALES CAUCES DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia a partir de información DGA

1.4.3. Análisis de Suelos y Territorio Urbano

El conocimiento de los suelos de la comuna se considera la principal base de información para proyectar la ocupación del territorio para distintos usos, sin afectar la capacidad natural productiva del territorio.

Desde el punto de vista de la localización de las diferentes capacidades de suelo respecto de las áreas ocupadas en usos de tejido urbano de la ciudad de Catemu es posible destacar lo siguiente:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria cl

En la ciudad de Catemu existen categorías de suelos Clase I, de alta productividad en la adyacencia del actual límite construido en sector nor-poniente de la ciudad presenta en la actualidad cultivos y ha sido ya en alguna medida intervenido con construcciones. Ello presenta limitaciones al crecimiento en extensión para el sector. Existen suelos de Clase II, de muy buena productividad, ubicados adyacentes al actual límite norte construido de la ciudad, y al este del mismo. La ciudad se encuentra mayoritariamente construida sobre la Clase III de suelos.

Sobre la localidad de El Ñilhue se puede mencionar que el asentamiento habitacional, se encuentra localizado sobre las Clases IV, y VIII de suelos. Hacia el oriente, existen Clases VII.e y hacia el poniente y a ambos costados de la vía de ingreso a Ñilhue, existen Clase II de suelos, lo cual representa limitaciones al crecimiento urbano en extensión

La localidad de Cerrillos se encuentra sobre Clases II de suelos, de muy buena productividad lo que establece limitaciones relativas a su densificación y en especial a su extensión. Al norte de la localidad se constata la existencia de un área de Clase I de suelo. Hacia el sector poniente de la vía E-615.existen Clases III.s de suelos. Este sector poniente, presenta la alternativa de crecimiento más sustentable en relación a la variable suelo.

1.4.3.1. Capacidad de Uso de Suelo

El valle de Catemu se caracteriza por presentar suelos de buena calidad, que han sido formados a través de miles de años de evolución geológica y edafológica, condicionados por las crecidas del río Aconcagua y Estero Catemu. De acuerdo con el mapa de Series de Suelo de CIREN-CORFO (escala 1:20.000), el 63% de los suelos presentes en el área de estudio corresponden a clases de uso de suelo I, II o III, siendo la Clase III la más abundante con casi un 40%. En el Cuadro 1.4.3.1-1 se ven las superficies según capacidad de uso de suelos en el área de estudio.

En la Figura 1.4.3.1-1 se muestra la distribución de las distintas clases de capacidad de uso del suelo en el valle de Catemu.

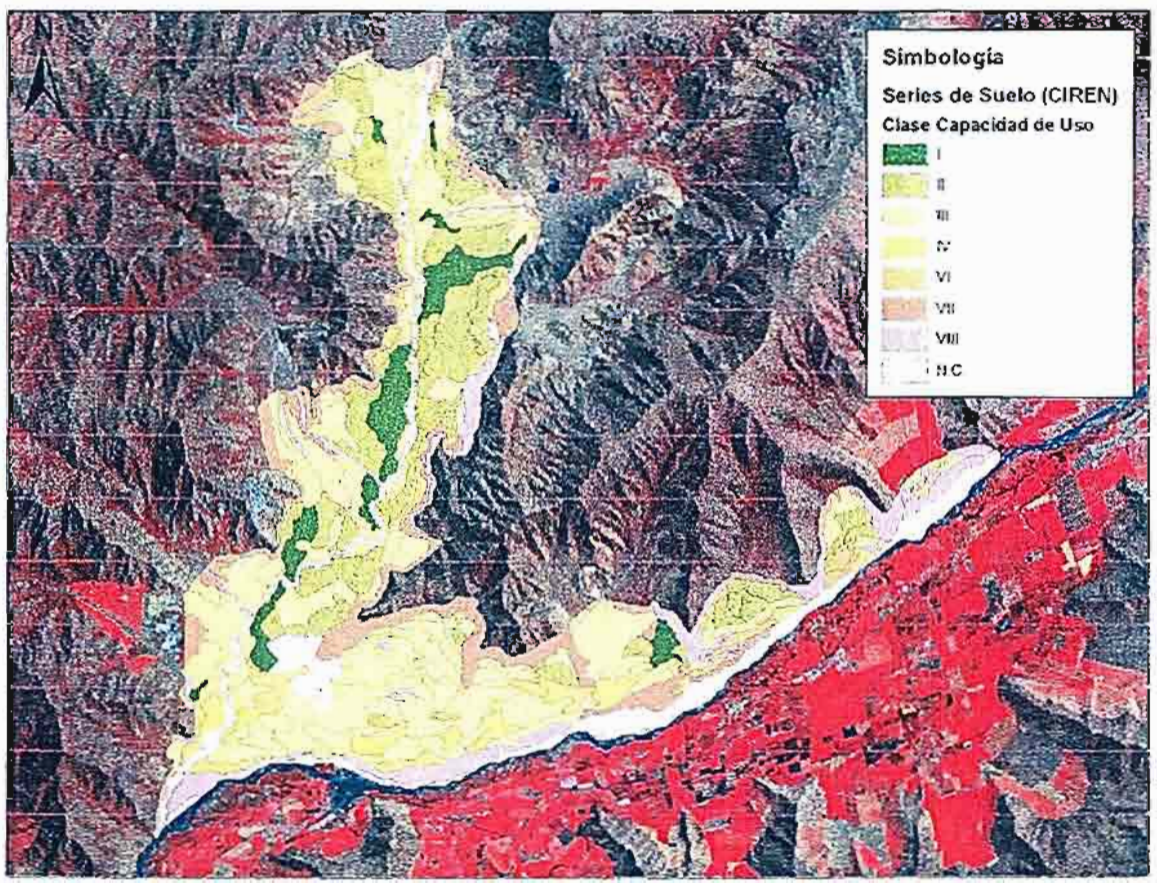
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.4.3.1-1
SUPERFICIE SEGÚN CLASE DE CAPACIDAD DE USO DE SUELOS

Clase Capacidad de Uso	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
I	465,0	6,4
II	1.242,7	17,1
III	2.879,6	39,6
IV	491,1	6,7
VI	118,7	1,6
VII	822,0	11,3
VIII	583,1	8,0
No Conocido	678,1	9,3
Total general Área de Estudio	7280,3	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de información CIREN

FIGURA 1.4.3.1-1
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SUELOS SEGÚN CLASE DE CAPACIDAD DE USO



Fuente: Elaboración propia a partir de información CIREN

Como puede observarse en la Figura, los suelos que han sido formados por el río Aconcagua son principalmente de Clase III y IV, mientras que aquellos que se internan en el

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

valle del estero Catemu tienen mayor presencia de las Clases I y II. Por su parte las Clases VI, VII y VIII se asocian en este caso a zonas de laderas con pendientes inclinadas y a la caja del río Aconcagua.

1.4.4. Antecedentes Demográficos y Socioeconómicos

1.4.4.1. Caracterización General

En el Cuadro 1.4.4.1-1 se presenta información de la población total, urbana y rural de acuerdo a los antecedentes recopilados en el censo de población del año 2002, efectuado por el Instituto Nacional de estadísticas (INE).

Al año 2002 la población urbana corresponde a más del 55%. La comuna presenta una estrecha mayoría de hombres alcanzando un 50,9% del total.

CUADRO 1.4.4.1-1
POBLACIÓN COMUNA DE CATEMU

Tipo de Población	Hombres	Mujeres	Total
Urbana	3.300	3.406	6.706
Rural	2.872	2.534	5.406
Total	6.172	5.940	12.112

Fuente: Censo 2002 (INE)

En el año 2002, desde el punto de vista de concentración poblacional, la comuna de Catemu, representaba el 0,76% del total regional, con una densidad poblacional media de 33,5 hab/km^2.

La comuna de Catemu para el Censo de 2002 constaba con 6 distritos censales: Catemu (ciudad cabecera comunal, que constituye el principal distrito urbano casi en su totalidad), Las Vacas, Cerrillos, Ñilhue, San José (distritos eminentemente rurales) y el distrito de Chagres (correspondiendo al área que ocupa la fundición que también es casi totalmente urbana). En el Cuadro 1.4.4.1-2 se puede apreciar la distribución poblacional según distrito y diferenciado en población urbana o rural. Este cuadro confirma una estructura dicotómica de la distribución territorial de la población de Catemu, agrupando prácticamente a toda la funcionalidad plenamente urbana en el núcleo central Catemu ciudad – Chagres, y en el resto de las localidades una funcionalidad totalmente rural.

CUADRO 1.4.4.1-2
DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL SEGÚN DISTRITO Y ZONA URBANA O RURAL

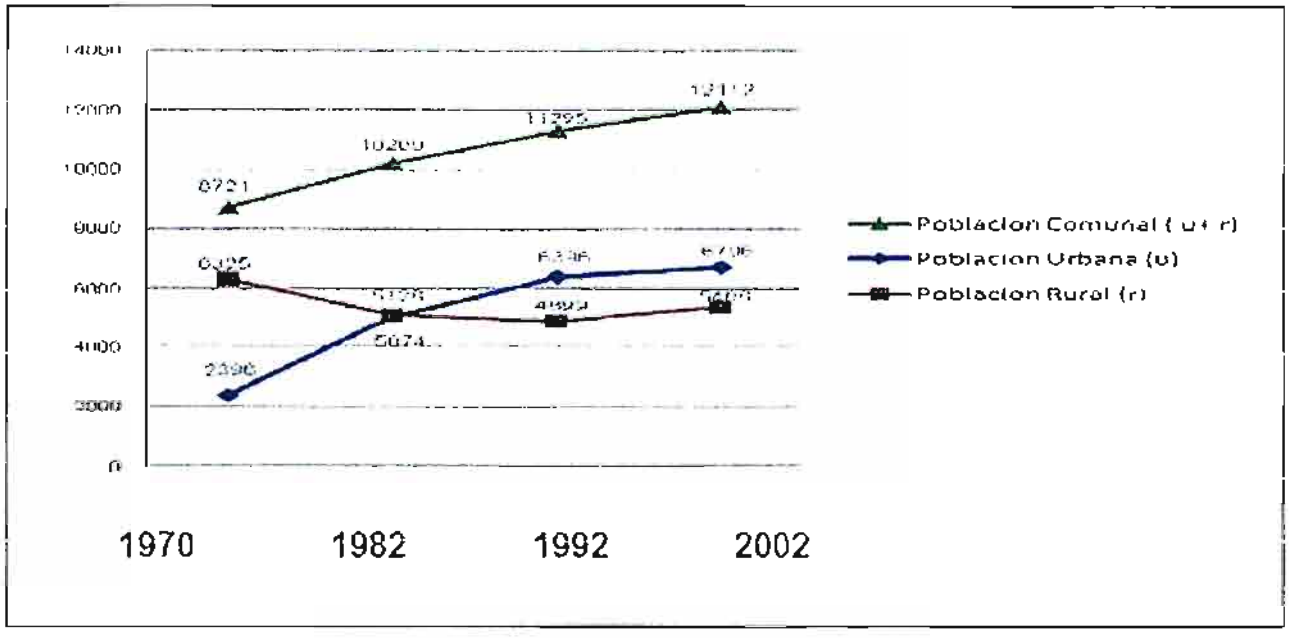
Distritos	Urbana	Rural	Total
Catemu	6.349	594	6.943
Las Vacas	16	1.588	1.604
Cerrillos	0	895	895
Ñilhue	0	807	807
San José	0	1.467	1467
Chagres	341	55	396

Fuente: Censo 2002 (INE)

1.4.4.2. Dinámica Poblacional

En cuanto al ritmo de evolución de las poblaciones Urbana y Rural, dentro de la comuna, a partir de la información contenida en los sucesivos Censos INE de los años 1970, 1982, 1992, y 2002, ellos por en en evidencia la paulatina contracción de la población Rural, frente a la población comunal Urbana, lo cual puede observarse en la Figura 1.4.4.2-1. Esto último indica cue a pesar de poseer Catemu, una alta proporción de población rural, en comparación con la media comunal del país, y a pesar de la importancia que las actividades agrícolas tiene en el desarrollo comunal, lentamente se va siguiendo la tendencia general de disminución relativa del medio rural : el campo se urbaniza.

FIGURA 1.4.4.2-1
DINÁMICA POBLACIONAL ENTRE LOS AÑOS 1970-2002



Fuente: Censos 1970 / 1982 / 1992 / 2002 (INE)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

De lo anterior se puede desprender que en el año 1970 la población rural de Catemu superaba ampliamente a la población urbana, más que duplicándola, y alcanzando a algo más del 68% del total comunal. Se trataba de una comuna netamente rural. Por su parte en 1982, ambas poblaciones casi se igualaron, lo cual significó, respecto de 1970, que la población rural decreció en más de un 16%, y la población urbana creció fuertemente en más de un 78%. En 1992, la población rural siguió disminuyendo, y la población urbana siguió creciendo, hasta alcanzar casi el 57% del total comunal. Se trataba ahora de una comuna claramente urbana. Sin embargo durante la última década censada, en el año 2002, la población urbana siguió creciendo, ahora a un ritmo más moderado que el que experimentó en la década 82-92, la población rural, cambió su sostenida tendencia a la contracción, experimentando un crecimiento de más del 10%. Se trata ahora aún de una comuna urbana aún, con un leve crecimiento en participación de la población rural, probablemente ligado a las exportaciones del sector agrícola.

1.4.4.3. Proyecciones de la Población

De acuerdo a la estimación realizada por el INE en función de las tasas anuales de crecimiento de la población al año 2011 en la comuna de Catemu existen 12.849 habitantes, donde sigue la tendencia de haber más hombres que mujeres alcanzando un porcentaje de 51,03% y 48,97% respectivamente. Las proyecciones del crecimiento de la población se presentan en el Cuadro 1.4.4.3-1.

CUADRO 1.4.4.3-1
PROYECCIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN AL AÑO 2011

AÑO	Total comuna		Hombres		Mujeres	
	Número	% Crecimiento	Número	% Crecimiento	Número	% Crecimiento
1990	10.778	-	5.500	-	5.278	-
1991	10.881	0,96%	5.550	0,91%	5.331	1,01%
1992	10.984	0,94%	5.596	0,84%	5.388	1,05%
1993	11.085	0,92%	5.648	0,93%	5.437	0,91%
1994	11.186	0,91%	5.700	0,91%	5.486	0,91%
1995	11.286	0,90%	5.747	0,83%	5.539	0,97%
1996	11.410	1,10%	5.811	1,11%	5.599	1,08%
1997	11.532	1,08%	5.880	1,20%	5.652	0,95%
1998	11.659	1,10%	5.945	1,10%	5.714	1,09%
1999	11.791	1,13%	6.015	1,19%	5.776	1,08%
2000	11.913	1,03%	6.172	1,11%	5.940	0,95%
2001	12.015	0,86%	6.135	0,87%	5.880	0,84%
2002	12.112	0,80%	6.184	0,80%	5.928	0,80%
2003	12.212	0,83%	6.237	0,84%	5.975	0,81%
2004	12.319	0,87%	6.290	0,85%	6.029	0,89%
2005	12.412	0,76%	6.339	0,78%	6.073	0,74%

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

CUADRO 1.4.4.3-1
PROYECCIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN AL AÑO 2011

AÑO	Total comuna		Hombres		Mujeres	
	Número	% Crecimiento	Número	% Crecimiento	Número	% Crecimiento
2006	12.412	0,00%	6.339	0,00%	6.073	0,00%
2007	12.490	0,62%	6.381	0,67%	6.109	0,57%
2008	12.563	0,59%	6.417	0,56%	6.146	0,62%
2009	12.641	0,62%	6.455	0,59%	6.186	0,66%
2010	12.716	0,59%	6.494	0,60%	6.222	0,58%
2011	12.849	0,48%	6,558	0,46%	6.291	0,49%

Fuente: Elaborado en base a información Censo 2002 (INE)

1.4.4.4. Dinámica Migracional

La migración en la región presenta escasas diferencias de sexo, pero sí muy relevantes según la variable edad, ya que en su mayoría el fenómeno aplica a la población joven adulta. La Comuna de Catemu presenta una migración con saldo negativo, tal como se puede apreciar en el Cuadro 1.4.4.4-1.

CUADRO 1.4.4.4-1
DINAMICA MIGRACIONAL ENTRE LOS AÑOS 1982/1992/2002

Periodo	Inmigrantes	Emigrantes
1982	906	1227
1992	940	1303
2002	1013	1183

Fuente: Censos 1982/1998/2002 (INE)

Según la encuesta CASEN del año 2006, la comuna de Catemu ha perdido población, lo cual podría tener origen en una circunstancia de buscar mejores condiciones de empleo. Al efecto debe considerarse que las comunas que han sido destino de los emigrantes cateminos, son principalmente aquellas pertenecientes a su misma provincia de San Felipe, tales como Llay-Llay, San Felipe, Panquehue, Putaendo, Santa María, y también a la comuna de Los Andes en la provincia homónima. Cabe destacar que éste conjunto de comunas ha recibido casi al 60% de las personas de Catemu que emigraron, es decir que ello se produjo yendo hacia comunas que tienen condiciones de vida similares a las de la Catemu, pero con mayores oportunidades de empleo y de servicios sociales. En términos de el sexo de emigrantes no hay diferencia alguna, ya que son por partes iguales mujeres y hombres los que dejan la comuna.

1.4.4.5. Principales Actividades Económicas

Las principales actividades económicas de la Comuna, se concentran en el sector de producción primario, es decir Agricultura y Minería. Actividades que en conjunto superan

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santancer 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

el 46,5% del total de mano de obra de la comuna de Catemu. Siendo la actividad agrícola la más importante para la mayoría de los sectores, representada mayoritariamente por huertos frutales y hortalizas.

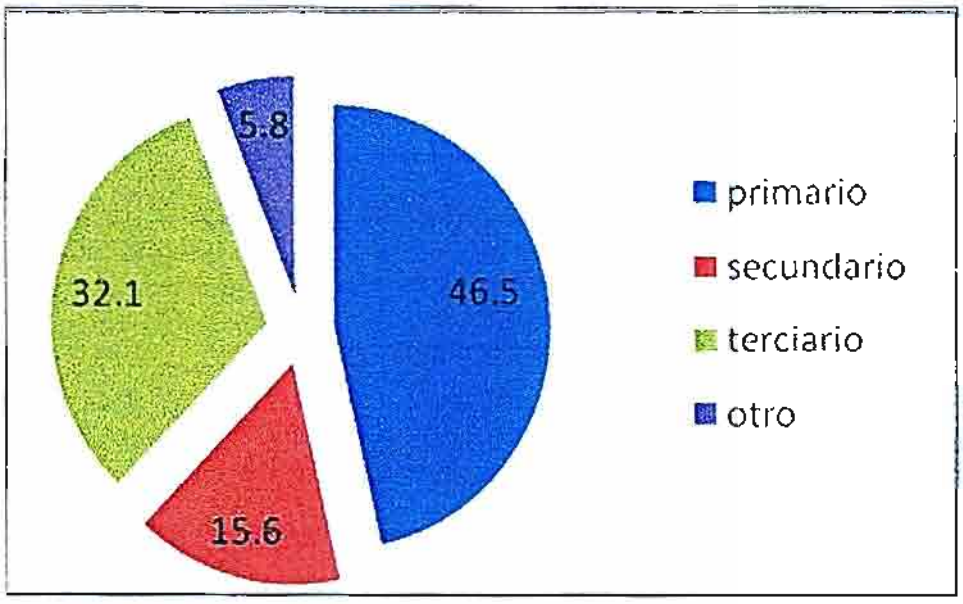
En la producción agrícola destacan cuatro grandes tipos de cultivos: frutales (parronales y naranjos); hortalizas (cebollas, tomates, porotos y otros), alimento para ganado y cultivos industriales (como tabaco y clavelones).

Otra actividad primaria importante es la minería. Representada por la fundición Chagres, ya que sus primeros habitantes se instalaron en el sector debido a la demanda de mano de obra que requería la empresa. El sector el Cobre debe su nombre a la intensa faena minera que tuvo en épocas anteriores y, evidentemente, a la extracción de cobre que se realizaba en los cerros adyacentes.

Dentro del sector secundario la construcción y manufactura son los rubros más relevantes, dejando con menor importancia a los rubros relacionados con la energía y vivienda. El sector terciario se destaca el comercio por sobre los demás, seguido por el transporte y telecomunicaciones y la educación.

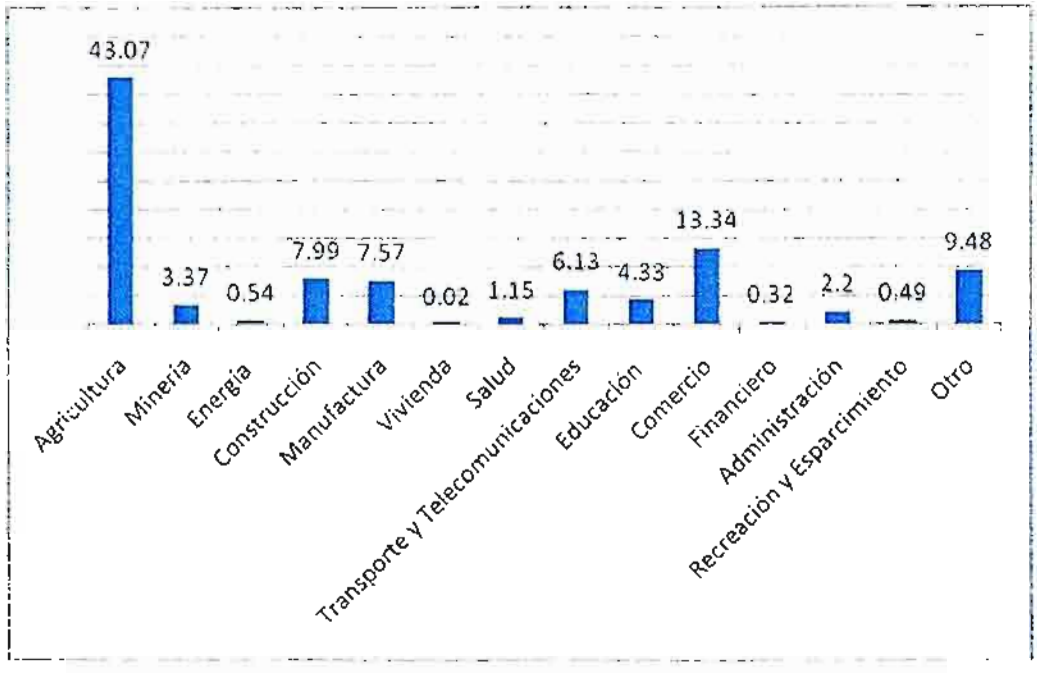
La Figura 1.4.4.5-1 muestra una gráfica en la que queda de manifiesto la importancia de cada sector. Seguido por la Figura 1.4.4.5-2 que detalla el porcentaje de cada una de estas actividades productivas.

FIGURA 1.4.4.5-1
PRINCIPALES SECTORES PRODUCTIVOS PARA LA COMUNA DE CATEMU



Fuente: Encuesta Casen 2006

FIGURA 1.4.4.5-2
DISTRIBUCIÓN DE MANO DE OBRA SEGÚN ACTIVIDAD PRODUCTIVA PARA LA COMUNA DE CATEMU



Fuente: Encuesta Casen 2006

1.4.4.6. Ocupación

La población económicamente activa (PEA) de la Comuna de Catemu se ha visto incrementada casi exclusivamente por la mayor participación de la mujer en ésta, ya que la población activa de hombres se mantiene en un valor cercano a los 3.500 trabajadores, entre 1998, y 2006, mientras que las mujeres suben en ese mismo lapso de tiempo, de 1.300 a 1.700. No obstante, aunque sube cerca de un 2%, se mantiene un nivel de incorporación de la mujer, no superior al 33%.

En términos generales, los resultados del último censo INE (2002) y los resultados de la Encuesta CASEN son coincidentes en señalar una estructura económica de la Comuna de Catemu donde predomina como factor de generación de empleo, la actividad agrícola, pero disminuyendo en importancia en el tiempo, aunque manteniendo casi estable el número de trabajadores incorporados en esa actividad y aumentando las actividades de servicio y comercio tanto en su importancia como en el número de trabajadores que ellas involucran.

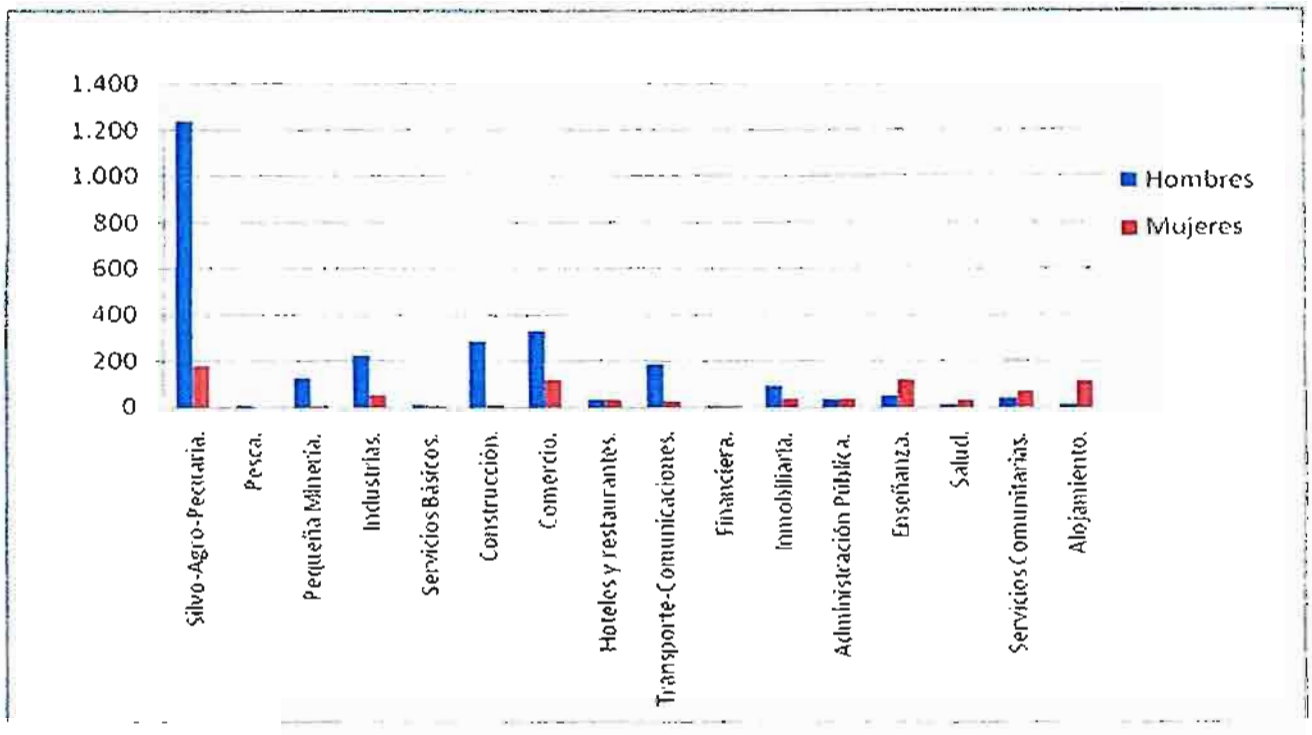
En los últimos años ha venido generándose una actividad minera con participación creciente, lo que es coincidente con los numerosos proyectos mineros en marcha.

La población ocupada se especializa según sexo, los hombres son los que más se concentran en la actividad agrícola, la construcción y la minería, mientras que las mujeres

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail. oficina@arrauingenieria.cl

tienen su principal especialización en las actividades de agricultura, en segundo lugar la enseñanza, pero también servicios de alojamiento y comercio. Esto es posible de apreciar en la Figura 1.4.4.6-1 que corresponde a un resumen de la población de 15 años o más económicamente activa, por rama de actividad económica y por sexo, en el total de la comuna de Catemu, considerando área urbana y rural.

FIGURA 1.4.4.6-1
POBLACIÓN OCUPADA POR RAMA DE ACTIVIDAD ECONÓMICA



Fuente: Censo 2002 (INE)

1.4.5. Condiciones de Vida de la Población

1.4.5.1. Salud

La administración de la salud en la V Región, está compuesta y sectorizada territorialmente en tres servicios que están integrados al Sistema Nacional de Servicio de Salud; dichos servicios sectoriales son:

- Servicio de Salud Viña del Mar Quillota
- Servicio de Salud Valparaíso San Antonio
- Servicio de Salud Aconcagua

El Servicio Salud Aconcagua, está conformada por las comunas de San Felipe, Los Andes, Putaendo, Llay Llay, Panquehue, San Esteban, Santa María, Catemu, Calle Larga y Rinconada. El Sistema de salud Municipalizado de Catemu, corresponde al denominado modelo de atención primaria, el cual consiste en una propuesta de atención integral, centrada en las distintas disciplinas que interactúan en el bienestar de las personas, promoviendo el cuidado de la salud, mejorando la calidad de vida, previniendo los más importantes factores de riesgo.

El Sistema de Salud primario en cuanto al tipo de acciones prestadas se encuentra estructurado en tres niveles de complejidad de atención, siendo el nivel de complejidad baja el correspondiente al sistema de atención abierta, el cual a través de diferentes establecimientos atiende a los beneficiarios del sistema en:

- Posta Rural
- Consultorio General Rural
- Consultorio General Urbano
- Sapu
- Sur

En la actualidad la Comuna de Catemu cuenta con 2 establecimientos, en los que se centralizan los principales Servicios de Salud, los cuales son complementados por estaciones médico rurales. Las referidas unidades de prestación actualmente en operación son las del Centro de Salud Municipal Dr. Eduardo Raggio Lanata, ubicado en el centro de la ciudad, las del Servicio de Urgencia Rural Municipal, ubicado en las mismas dependencias; la Posta Rural Municipal Cerrillos, ubicada en el sector rural de Cerrillos y un conjunto de Estaciones Municipales Médico Rurales ubicadas en los sectores rurales de El Ñilhue, de Las Compuertas, de El Seco Alto, de San José, de Reinoso, y de Santa Isabel.

En la actualidad la cobertura que brinda el Centro de Salud, presenta una cifra algo superior al 97% de su demanda, la población validada por Fonasa, según grupos etarios alcanza a 12.640 personas a nivel comunal, de cuyo total, solo menos del 8 % corresponden a atenciones prestadas por la posta rural (ubicada en el sector de Cerrillos).

En cuanto a la situación general de salud que presenta la comuna, en el año 2006, según datos de la encuesta CASEN, la tasa de natalidad de la Comuna alcanza a 13,2 % lo cual debe compararse con antecedentes otorgados por el Ministerio de Salud para el año 2002, en que la comuna de Catemu presentaba una tasa de natalidad (1) de un 16,0%, la que era superior a la tasa presentada en la Región de Valparaíso con un 15,4%, y muy similar a la presentada por el país que correspondía a un 16,1%. Por otra parte, la comuna presenta en el año 2006, también de fuente Casen, una tasa de mortalidad (2) de 6,1 % cifra mayor al 4,5 % que tenía el año 2002.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1.4.5.2. Educación

La Región de Valparaíso tiene un nivel de analfabetismo bajo (3,2%), pero a nivel se produce una heterogeneidad a nivel comunal, donde la comuna de Catemu aparece como una de las comunas con niveles más altos de población que no sabe leer ni escribir. Como dato comparativo, cabe citar que el analfabetismo detectado el año 2002 por el Censo INE era de 7,76% en la Comuna de Catemu, lo que viene a ratificar los valores presentados por la Encuesta CASEN.

Si se considera un indicador global como la escolaridad media de la población de 15 años y más de edad, la mejor posicionada es la comuna de Viña del Mar, con 11,09 años de estudio, y la peor observada es Catemu con 7,85 años.

El Sistema de Educación Comunal de Catemu, imparte educación en niveles docentes ubicados desde Kinder a cuarto año medio, y está constituido principalmente por la denominada Educación Municipalizada - la cual cubre aproximadamente en la actualidad unos 2/3 de la demanda total - y complementariamente por la Educación Privada, de tipo particular subvencionada, la que complementa la atención de la demanda total.

En edificaciones independientes a los citados 10 establecimientos, puede mencionarse la existencia de 2 Jardines Infantiles – salas cuna, los que están localizados, uno de ellos en la ciudad, y otro en la localidad rural de Valle Hermoso los cuales complementan la prestación educacional comunal. Algunos de ellos presentan edificaciones que son adyacentes o próximas a los locales que imparten los niveles de la educación básica.

Los Establecimientos ubicados en el área urbana son 4, correspondiendo 3 de ellos al sistema municipalizado, y uno de ellos de tipo particular subvencionado. Los primeros son el Liceo de Chagres, la Escuela María Teresa del Canto, y la Escuela San José, y el de tipo privado, es el Colegio California. En el área rural, se encuentran los restantes 6 establecimientos de la comuna, de los cuales 5 son del sistema municipalizado, y uno particular. Los primeros corresponden a la Escuela de Los Cerrillos, a la Escuela del Ñilque, a la Escuela Rebeca Johnson García Huidobro, a la Escuela Santa Margarita, y a la Escuela de El Cobre, y el establecimiento privado es la Escuela Agrícola Salesiana.

Los establecimientos Municipalizados, poseen una condición material regular, acusando algunos de ellos deterioro y antigüedad en su materialidad, y en casos dependencias que hoy resultan incómodas por falta de espacio. Algunos de ellos no poseen dependencias exclusivas para los profesores. Se suma a lo anterior, carencias de salas exclusivas para talleres de música, arte, ciencia, para laboratorios, y en algunos casos para biblioteca.

En cuanto al equipamiento de medios el nivel en cambio, es en general, bueno existiendo implementación de computadores, de proyección (excepto 2 escuelas rurales de

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El Cobre- Colonia, y de San José) acceso wi-fi a la red, etc. La matrícula total comunal de Catemu, alcanza en el año 2008, un total de 2115 alumnos de los cuales prácticamente el 75 % son atendidos por el sector municipalizado, y el 25 % restante por el sistema privado. El Cuadro 1.4.5.2-1 sintetiza los aspectos de matrícula, es decir número de alumnos, de tipo al que pertenece si corresponde a educación municipal o particular, de ubicación urbano-rural, y de grados académicos impartidos.

CUADRO 1.4.5.2-1
ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES DE LA COMUNA DE CATEMU

Nombre	Tipo M/P	Ubicación U/R	Nº Alumnos	Nivel
Liceo de Chagres	M	U	218	Ed. Media
Escuela María Teresa del Canto	M	U	484	Ed. Básica
Escuela San José	M	U	173	Ed. Básica
Escuela Los Cerrillos	M	R	122	Ed. Básica
Escuela El Nilhue	M	R	144	Ed. Básica
Escuela Rebeca Johnson García Huidobro	M	R	16	Ed. Básica
Escuela Santa Margarita	M	R	21	Ed. Básica
Escuela El Cobre	M	R	162	Ed. Básica
Colegio California	P	U	428	Ed. Básica y Media
Escuela Agrícola Salesiana	P	R	317	Ed. Media

Fuente: Plan Regulador Comunal, 2010

1.4.5.3. Vivienda

El asentamiento de Catemu, inicialmente se genera en torno a las calles de acceso y la Plaza, y que constituyen su centro fundacional. El patrón de edificación más predominante refleja mayores superficies prediales en la subdivisión del suelo, mayor amplitud en su superficie edificada y solidez propia de la construcción tradicional del valle central de Chile. Contrariamente, los nuevos conjuntos localizados en torno al núcleo fundacional, y en la última década, hacen presente el patrón opuesto al anterior: Pequeños predios, superficies mínimas, materialidad liviana prefabricada en algunos casos, y alta densidad de ocupación.

Las limitaciones del desarrollo comunal, junto al carácter de semi ruralidad que la ciudad posee, han propiciado un crecimiento lento pero extensivo, caracterizado por la vivienda de uno y hasta dos pisos, no existiendo aún edificaciones de mayor altura.

Debe destacarse como factor importante de desarrollo local, la inexistencia de ranchos o chozas, y la disminución de mediaguas y mejoras, simultáneamente aparecen otras formas de habitabilidad precaria como lo son el vivir en una pieza dentro una vivienda. Esto es posible de apreciar en el Cuadro 1.4.5.3-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.4.5.3-1
COMPARACIÓN DEL TIPO DE VIVIENDA AÑOS 1998/2006

Tipo de Vivienda	1998		2006	
	N	%	N	%
Casa	2787	94,06	3272	97,41
Casa en condominio	35	1,18	0	0,00
Pieza en casa	4	0,13	45	1,34
Media agua o mejora	137	4,62	42	1,25
Rancho, ruca o choza	0	0,00	0	0,00
Total	2963	100	3359	100

Fuente: MIDEPLAN. Encuesta Casen 1998 / 2006.

1.4.5.4. Servicios Básicos, Alcantarillado y Agua Potable

El abastecimiento de agua potable en la comuna está abordada en un 96,25% por la red pública, y los restantes cuentan con otros medios de abastecimiento. Este valor está por sobre el promedio regional y a nivel país (95,3% y 93,2% respectivamente).

La distribución porcentual de los hogares con acceso a energía eléctrica corresponde a un 98,72% conectado a la red pública, es un porcentaje que está por debajo de la cobertura a nivel regional donde sólo un 0.26% no posee energía eléctrica.

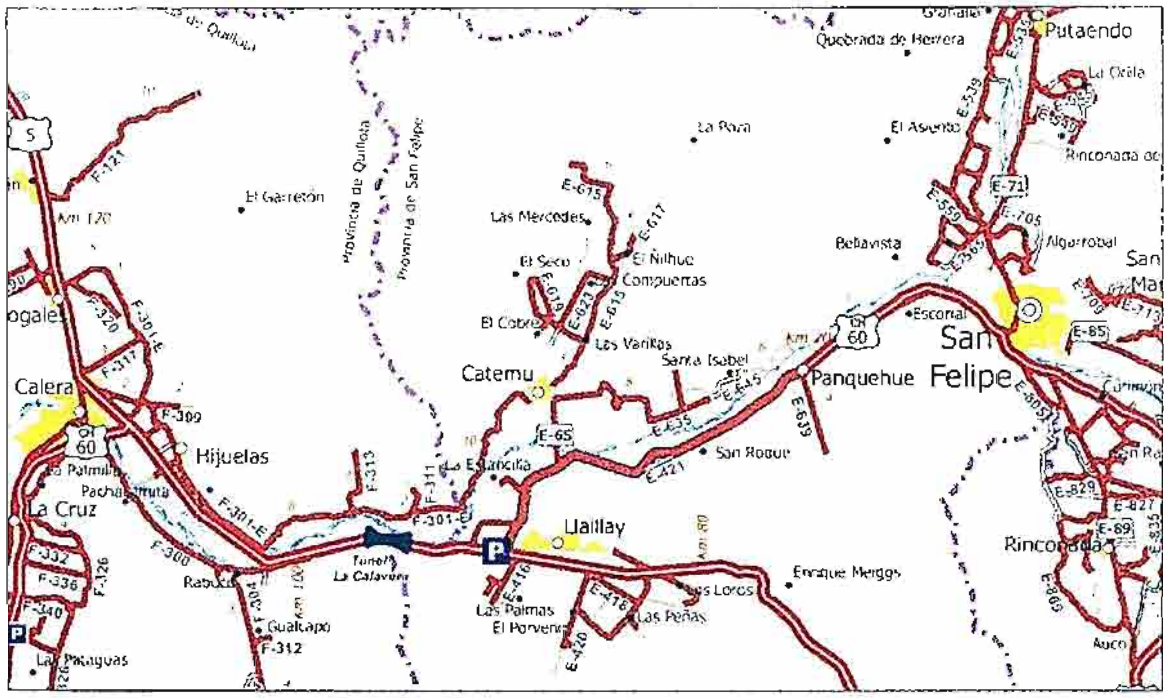
En cuanto al sistema de eliminación de excretas, a nivel regional un 83,84% de los hogares está conectado a un sistema de alcantarillado, en tanto la comuna de Catemu sólo el 39,95% se encuentra conectada. El resto de la población comunal declara estar conectado a fosa séptica o a otros tipos de conexión, entre ellos letrina sanitaria, pozo negro o sistema de cajón.

1.4.5.5. Accesibilidad

La comuna de Catemu, se ubica a 101 km de la ciudad de Valparaíso, capital de la Región de Valparaíso a la que pertenece; a 96 km de Viña del Mar, "capital" turística de la Región, y a 29 km de San Felipe, capital de la Provincia homónima, de la cual forma parte. Lo cual se aprecia en la Figura 1.4.5.5-1.

La Comuna de Catemu se encuentra vinculada y adyacente a la importante vialidad de nivel nacional e internacional (Ruta 60-Ch), que la conecta tanto con la Capital Regional, primer puerto de la nación, con la Capital del País, y con la República Argentina, situación esta última de gran importancia y vinculada a la potencialidad de desarrollo del denominado corredor bioceánico.

FIGURA 1.4.5.5-1
RED VIAL REGION DE VALPARAISO, COMUNA DE CATEMU



Fuente: Red e Infraestructura vial, Dirección de Vialidad 2010.

La red vial comunal, posee su principal conexión con la red vial mayor de nivel nacional e internacional, a través de la Ruta 60 Ch, en su intersección con la localidad de Chagres, punto a partir del cual se desarrolla localmente.

Dos son las ramas principales de la red de vinculación a partir de la ciudad de Catemu. La primera de ellas, se desarrolla a lo largo del valle del Aconcagua, por su ribera poniente, y sirve a un conjunto de asentamientos urbanos allí ubicados entre los que se distinguen los de san José, Santa Margarita, Riquelme, Santa Isabel etc. La segunda rama, se desarrolla a lo largo del eje del Estero de Catemu, y da acceso a las localidades ubicadas en el valle. Desde la ciudad ce Catemu hacia el norte ella se desarrolla por la ribera oriental del estero, y vincula a los asentamientos de Varillar, Las Compuertas, Ñilhue, Cerrillos y otros menores.

Desde la ciudad de Catemu hacia el sur, la vía se desarrolla por la ribera poniente del estero, vinculando al Sector de Santa Rosa, y otros a través de ella. Dicho ramal avanza hasta la confluencia del Estero de Catemu con el Rio Aconcagua, en el límite comunal con la Comuna de Hijuelas. De dichas ramas principales, se desprenden un conjunto de vías de carácter secundario, las que poseen normalmente direcciones de tipo oriente – poniente, de tipo perpendicular al valle y al Estero de Catemu, y que dan acceso a otros asentamientos tales como El Cobre, El Seco Bajo y El Seco Alto, desde Varillar, etc.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail. oficina@arrauingenieria.cl

La red vial descrita abarca prácticamente el total de la comuna y posee una buena cobertura, sin embargo cabe destacar que las localidades rurales mencionadas se encuentran localizada, de tal manera que el único acceso con que cuentan hacia el resto del territorio nacional, es desde Catemu urbano, lo que significa una extrema dependencia del estado de los caminos locales en su acceso a dicha ciudad cabecera comunal. De acuerdo a la clasificación y denominación de vías de la Red Vial Regional establecida por la dirección de Vialidad MOP, la red vial comunal de Catemu consta de las siguientes vías principales, y vías secundarias.

Vías Principales:

- Vía E - 65 unión Chagres- ciudad de Catemu
- Vía E -615 uniones ciudad de Catemu con núcleos hasta Cerrillos
- Vía E- 635 uniones ciudad de Catemu con núcleos hasta Santa Isabel
- Vía F- 605 uniones ciudad de Catemu, con Comuna de Hijuelas (Vía F- 301)

Vías Secundarias:

- Vía E- 619 Las varillas a El Cobre, El Seco Bajo, El Seco Alto
- Vía E- 627 las Compuertas a Lo Salas etc.
- Vía E- 617 acceso a Ñilhue (desde vía E- 615)
- Vía E- 623 uniones entre vías E- 619, y vía E- 627
- Vía E- 641 Reinoso hacia el norte

1.5. CONTENIDOS DEL INFORME FINAL

Este informe se presenta dividido en 13 capítulos:

- **Capítulo 1:** Introducción, Objetivos, Ubicación, Antecedentes Generales Área de Estudio y Contenido Informe Final
- **Capítulo 2:** Recopilación de Antecedentes
- **Capítulo 3:** Estudios de Terreno
- **Capítulo 4:** Análisis de Alternativas
- **Capítulo 5:** Estudio Agroeconómico
- **Capítulo 6:** Modelo de Simulación Sistema de Riego Catemu
- **Capítulo 7:** Prediseño de Obras

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Capítulo 8:** Interferencias y Expropiaciones
- **Capítulo 9:** Precios Unitarios, Cubicaciones y Presupuestos
- **Capítulo 10:** Estudio De Análisis Ambiental
- **Capítulo 11:** Evaluación Económica
- **Capítulo 12:** Participación Ciudadana
- **Capítulo 13:** Conclusiones y Recomendaciones

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS, UBICACIÓN, ANTECEDENTES GENERALES ÁREA DE ESTUDIO Y CONTENIDO INFORME FINAL 1

1.1. INTRODUCCIÓN 1

1.2. Objetivos del Estudio 2
1.2.1. Objetivo General 3
1.2.2. Objetivos Específicos 3

1.3. Ubicación del Área de Proyecto 3

1.4. Antecedentes Generales del área de Estudio 5
1.4.1. Estructura Política y Administrativa 5
1.4.2. Características Físicas 6
1.4.2.1. Relieve Comunal 6
1.4.2.2. Geomorfología de las Cuencas de Catemu, El Melón y Nogales 6
1.4.2.3. Clima y Meteorología 7
1.4.2.4. Hidrografía, Cuencas, y Recursos Hídricos 8
1.4.3. Análisis de Suelos y Territorio Urbano 10
1.4.3.1. Capacidad de Uso de Suelo 11
1.4.4. Antecedentes Demográficos y Socioeconómicos 13
1.4.4.1. Caracterización General 13
1.4.4.2. Dinámica Poblacional 14
1.4.4.3. Proyecciones de la Población 15
1.4.4.4. Dinámica Migracional 16
1.4.4.5. Principales Actividades Económicas 16
1.4.4.6. Ocupación 18
1.4.5. Condiciones de Vida de la Población 19
1.4.5.1. Salud 19
1.4.5.2. Educación 21
1.4.5.3. Vivienda 22
1.4.5.4. Servicios Básicos, Alcantarillado y Agua Potable 23
1.4.5.5. Accesibilidad 23

1.5. CONTENIDOS DEL INFORME FINAL 25

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CAPÍTULO 2

RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES

2. RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES

2.1. REVISIÓN DE ESTUDIOS

En esta sección se presentan estudios en diversas áreas los que permiten tener una visión en extenso de la problemática del área de estudio. En total se analizaron 36 estudios, los que se dividen en las siguientes 5 categorías:

- Estudios de Ingeniería (8)
- Estudios de Recursos Hídricos e Hidrología (6)
- Estudios de Carácter Agronómico (10)
- Estudios de Carácter Ambiental (8)
- Estudios Varios (4)

2.1.1. Estudios de Ingeniería

En primer lugar se presenta el estudio realizado por PROCIVIL para la DOH el año 2009, y que sirve como base para el trabajo que se está realizando, para luego continuar con estudios relevantes en orden cronológico.

2.1.1.1. Estudio de Perfil: Proyecto de Unificación de Bocatomas y Multiuso de Aguas de Canales: Arriba de Catemu; Abajo de Catemu y Pepino. V Región. Procivil, 2009

El Estudio consistió principalmente en analizar el incremento de la eficiencia de manejo del agua, ya sea en captación, conducción, distribución y su mejoramiento de calidad, así como el aumento de seguridad de algunas obras y de la población que atraviesan los canales, junto con el multiuso de las aguas

Las alternativas de mejora analizadas fueron:

- Unificación de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino o Huidobro. Se contempla construir una obra de captación, aumento de capacidad y revestimiento de 14,5 km de canal, y unidades de distribución hacia los demás canales.
- Mejoramiento integral, de cada uno de los 3 canales en forma independiente

En el análisis de multicriterios con ambas alternativas se concluye y se opta sobre las ventajas que reúne la primera alternativa, estos serían:

Mª Luisa Santender 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniera.cl

- Menores costos
- Mayor eficiencia
- Menores impactos negativos en su entorno

Las obras que se consideraron en la presente iniciativa fueron:

- Nueva estructura de bocatoma unificada en el río, la cual posibilitará la captación de los caudales unificados.
- Desarenador al inicio.
- Aumento de la capacidad del canal Catemu del Alto en una extensión de unos 15 km. Se consideran obras anexas necesarias para cumplir el caudal objetivo. Y el recubrimiento para los cruces de quebradas.
- Aumento de la capacidad del túnel #1.
- Construcción de un nuevo túnel en el pueblo de Catemu. De longitud 1.100 m para evitar pérdidas por infiltración y con capacidad para el caudal de los canales de Arriba y de Abajo.
- Entregas presurizadas a riego en 2 puntos de la red.

Los beneficios esperados serían los siguientes

- Permitiría recuperar parte de las pérdidas de agua, especialmente las que se producen en el período de máximas demandas evapotranspirativas.
- El proyecto en conjunto beneficiaría directamente a 5.680 ha
- 1.047 agricultores se beneficiarán con este proyecto
- VAN Privado $3513 millones
- VAN Social $6212 millones

2.1.1.2. Perfil de Proyecto para Generación Hidroeléctrica: Descarga desde Canal Arriba de Catemu a Canal Debajo de Catemu y a Canal Pepino o Huidobro. Procivil, 2009

En este estudio se evaluó a nivel de perfil, la rentabilidad de una eventual generación hidroeléctrica en una central de pasada de funcionamiento continuo y permanente todo el año. Dicho objetivo fue planteado de la siguiente forma:

- Se requiere de la unificación de las bocatomas de los canales Catemu del Alto, Catemu del Bajo y Pepino o Huidobro con el correspondiente aumento de capacidad del canal del Alto.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- El punto propuesto a nivel de perfil para la generación corresponde al punto de restitución en el canal Pepino o Huidobro ubicado justo antes del actual túnel que atraviesa la llamada "Puntilla las Máquina", en el Km 15 aproximadamente del canal del Alto. El desnivel en este punto sería de 42 m.
  - En el período de invierno, cuando el riego no es necesario, se considera los derechos hídricos de los 3 canales para generar.
  - Durante el período de verano, es decir en la época en que el riego es prioritario, los caudales de generación serían exclusivamente los del canal Pepino.
- Considerando un caudal de generación máximo de 12 m^3/s, y un desnivel bruto de 42 m, se determinó un potencial máximo de generación de 4,1 MW. Además se analizó la rentabilidad del proyecto para 6 diámetros posibles (desde 710 mm hasta 1.400 mm) de tuberías comerciales con capacidad de porteo en el rango del caudal disponible para generación, y para desnivel bruto de generación identificado. El Cuadro 2.1.1.2-1 muestra los resultados de los beneficios del proyecto para cada diámetro de tubería considerado, incluyendo los indicadores TIR, VAN y montos de inversión inicial.

CUADRO 2.1.1.2-1
FLUJO ECONÓMICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Parámetros	Unidad	Tubería N°1	Tubería N°2	Tubería N°3	Tubería N°4	Tubería N°5	Tubería N°6
Diámetro interior de la tubería forzada	mm	710	800	900	1.000	1.200	1.400
Diámetro comercial de la tubería forzada	mm	800	900	1.000	1.200	1.400	1.600
Potencia óptima "Po" instalada en la central	MW	0,86	1,13	1,47	1,85	2,03	2,09
VAN	Millón $	1.818	2.309	2.781	3.238	3.356	3.277
TIR	%	15,6	16,1	16,3	16,3	16	15,6
Inversión inicial "Io"	Millón $	2.098	2.426	2.844	3.309	3.620	3.837
Caudal de diseño de la central "Qd"	m^3/s	3,2	4	5,1	6,3	9	12,3
IVAN (VAN/Io)	-	0,87	0,95	0,98	0,98	0,93	0,85
Inversión por unidad de potencia (Io/P)	Millón $/MW	2.440	2.147	1.935	1.789	1.783	1.836

Nota: El análisis considera 6 diámetros de alternativas de tuberías HDPE, tipo PECC 60.
Fuente: PROCIVIL 2009

Los antecedentes proporcionados por este estudio serán usados en el análisis de alternativas dentro de la presente consultoría.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

2.1.1.3. Regadío Valle de Catemu: Proyecto Túnel Salesianos. Galleguillos Stowhas Ingenieros Civiles, 1987

Éste corresponde a un estudio realizado en 1987, que tuvo como objetivo anteproyectar una alternativa que diera solución al problema de derrumbes y consiguientes colapsos y desbordes de canales (e interrupciones en el suministro de riego del valle) en la zona de laderas del sector de Puntilla Las Máquinas (frente a Catemu Urbano). Esto debido a un fenómeno de inestabilidad creciente de las laderas del sector.

Esta alternativa propuesta consistió en unificar bocatomas de los Canales Catemu del Alto y Catemu del Bajo, para posteriormente conducir las aguas a través de un túnel acueducto que, atravesando la Puntilla de las Máquinas, daría una solución definitiva al problema antes descrito en la zona inestable, dejando fuera de servicio los canales Catemu del Alto y Catemu del Bajo en los tramos obviados. La capacidad de porteo del túnel correspondería a la suma de los recursos de los Canales Catemu del Alto y Catemu del Bajo.

El túnel anteproyectado tendría una longitud de 1,15 km excavado en roca granodiorítica, la que se pronosticó con buena calidad geotécnica. Su caudal de diseño fue de 3,68 m^3/s (consideró caudales reales de porteo en lugar de los caudales según derechos inscritos), su sección sería rectangular de 2,2 x 1.6 m (ancho x alto) y una bóveda de un radio 1,38 m, lo que da un alto máximo en la clave del túnel de 2,15 m.

La obra se complementa con 2 conexiones cortas en zanja abierta al Canal del Alto existente, un marco partidor y un rápido de restitución de derechos de aguas del Canal del Bajo.

El monto estimado de construcción del proyecto fue de UF 11.869,64 con un plazo de ejecución estimada de 14 meses.

La información contenida en este estudio será utilizada en el estudio y análisis de alternativas a lo largo de la presente consultoría.

2.1.1.4. Estudio Mejoramiento Canales Catemu; V Región. Electrowatt, 2000

El objetivo de este estudio fue la elaboración del diseño definitivo y presupuesto de las obras, a un nivel de detalle que permita la licitación y posterior construcción de las obras detalladas a continuación:

- Diseño de las obras en bocatoma que permitan la unificación de ambos canales
- Diseño de descargas del canal unificado para situaciones de emergencia, como por ejemplo aguas lluvias
- Diseño de la ampliación del túnel chico existente

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Diseño del nuevo túnel Salesianos
- Diseño de la obra de entrega del Canal Unificado al Canal Bajo
- Diseño de entregas menores desde el Canal Unificado al Canal Bajo
- Diseño de(obras para superar interferencias, como por ejemplo puentes
- Diseño de zonas de revestimiento del canal o muros de protección
- Diseño y/o mejoramiento de compuertas de distribución desde el Canal Matriz

El informe se divide en dos partes:

- La primera de éstas, abarca todos los antecedentes relacionados con los canales Catemu.
- La segunda parte contiene toda la información correspondiente a las obras subterráneas realizar en este proyecto, que comprenden la construcción del túnel Salesianos y ampliación del túnel Chico existente.

La presentación del informe final consta de lo siguiente:

- TOMO I Resumen Ejecutivo
- TOMO II Informe Final
- TOMO III Construcción Túnel Salesianos y Ampliación Túnel Chico. Anexos
- TOMO IV Proyecto Mejoramiento Canales Catemu. Anexos - Parte 1
- TOMO V Proyecto Mejoramiento Canales Catemu. Anexos - Parte 2
- TOMO VI Construcción Túnel Salesianos y Ampliación Túnel Chico. Documentos de Licitación
- TOMO VI Proyecto Mejoramiento Canales Catemu. Documentos de Licitación

Los estudios básicos presentes en el estudio son los siguientes:

- **Topografía:** Los trabajos topográficos realizados correspondieron, principalmente, a la materialización de PR's a lo largo de todo el canal Alto Catemu, levantamientos de las obras mayores y también de algunas entregas de importancia.
- **Hidrología:** El estudio hidrológico tuvo como finalidad determinar los caudales máximos instantáneos producto de aguas lluvias en las diferentes quebradas interceptadas por el canal unificado entre el Km 0,00 y el Km 19,2. Con los caudales resultantes de procedió a dimensionar las obras de descarga de aguas lluvias.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Operación del canal para evacuar aguas lluvias:** En la condición de diseño, el canal Alto Catemu aumenta su capacidad de 2,11 m^3/s a 5,5 m^3/s en sus primeros 16 km (canal Unificado). Con ello aumenta también la capacidad que tiene el canal de captar las aguas lluvias de la zona alta del valle. Por este motivo, el estudio de prefactibilidad estableció la necesidad de contar con puntos de descarga, proporcionando seguridad a la operación del canal.
- **Geotecnia del canal:** Para complementar la información de mecánica de suelos del estudio de prefactibilidad, en la presente consultoría se excavaron 35 calicatas adicionales con el fin de determinar las características geotécnicas de aquellos sitios donde se emplazarían las obras.
- **Definición de Mejoramientos Canal Alto Catemu:** El objetivo de este capítulo es definir los sectores del canal que necesitan un mejoramiento de su sección, de manera tal, que sea capaz de operar con un caudal captado en bocatoma de 5,5 m^3/s y considerando que no existirán turnos para riego.

2.1.1.5. Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Canales Catemu; Comuna de Catemu, V Región. Procivil, 1996

Este estudio fue encargado por la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas a Procivil Ingeniería Ltda. En el marco de los estudios para el Programa de Obras de Riego Medianas y Menores (PROMM).

El objetivo principal de este estudio consistió en evaluar soluciones de mejoramiento de riego para los canales matrices de catemu, incluyendo además una disminución del riesgo asociado a desbordes de los mismos, hecho que venía siendo perjudicial tanto para el suelo agrícola como el urbano y las vidas humanas.

Este estudio comprendió estudios hidrológico, hidráulico y agroeconómico, y propuso las siguientes soluciones:

- Construcción de un túnel de 1.130 m en el sector de Puntilla Las Máquinas, con una capacidad 5,5 m^3/s. Este túnel terminaría con el amago de avalancha de ambos canales (Catemu Alto y Bajo), sobre el pueblo Catemu y evita filtraciones.

- Construcción de un canal matriz unificado de 16 km hasta la descarga del Bajo aumentando la capacidad del sistema entre los 5,1 y 5,5 m^3/s.

- Unificación de bocatomas de los canales Catemu del Alto y del Bajo, aumentando la captación del sistema en un rango variable entre los 5,1 y 5,5 m^3/s, conforme con los derechos de las organizaciones de usuarios de aguas presentes. Con esto se evitarían las filtraciones en el río entre ambas bocatomas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Incorporación de 2 desagües de emergencia al río mejoramiento de un tercero.

- Mejoramiento del control y porteo de aguas lluvias por el aumento de capacidad del canal Catemu del Alto, reduciendo el peligro de rotura en invierno.

- Construcción de aforadores en los saques del canal Catemu del Alto, para controlar el caudal entregado.

El costo total de estas obras, se estimó en ese entonces en 1.240 millones de pesos, incluyendo costos directos, gastos generales del contratista, imprevistos, utilidades e impuestos.

2.1.1.6. Modelo de Simulación Hidrogeológica; Valle del Río Aconcagua. Ingendesa, 1998

La Dirección de Riego del MOP, en conjunto con la CNR y la DGA plantearon la necesidad de contar con un estudio para disponer de una herramienta de análisis y planificación de los recursos hídricos del valle de Aconcagua con el objeto de aprovechamiento óptimo de los recursos hídricos de la cuenca, que permita:

- La simulación y evaluación de la influencia o impacto de nuevas obras o acciones como trasvases y regulaciones, centrales hidroeléctricas, diferentes modalidades de operación, modificación en las eficiencias del uso del agua para riego, aumento del uso de agua subterránea.
- Disponer de modelos de pronostico hidrológicos que permitan a los usuarios dueños de derechos de agua, una oportuna toma de decisiones sobre las reglas de operación a adoptar en la regulación y distribución de los recursos
- Disponer de una herramienta para la operación y administración integral de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la cuenca
- Disponer opcionalmente de un instrumento que permita modelar la calidad del agua superficial.

Conclusiones del Estudio:

- Se han construido modelos de simulación con los cuales es posible evaluar la influencia o impacto de nuevas obras o acciones como trasvases y regulaciones, aumento en el uso de agua subterránea, en la cantidad y distribución de los recursos hídricos de la cuenca del río Aconcagua
- Considerando la actual infraestructura de aprovechamiento de los recursos hídricos, se verificó que no hay recursos suficientes para satisfacer las

demandas de los cultivos en el valle de Putaendo y en la 3ª sección legal del rio Aconcagua.

- No habrían alteraciones de importancia en los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la 2ª sección legal del rio Aconcagua, si se construye el embalse Puntilla del Viento. Respecto a los efectos sobre la seguridad de riego, se producirían importantes mejoras en el valle del estero Los Litres y en Aconcagua entre Romeral y La Calera, ribera derecha y en el valle del estero Limache.
- Considerando la construcción de los embalses Puntilla del Viento junto con Rocín, mejora ostensiblemente la seguridad de riego en el valle de Putaendo, valle del estero los Litres y en Aconcagua entre Romeral y La Calera, ribera derecha.
- Existen recursos para llenar el embalse Las Peñas, de 150 hm^3 de capacidad. Con dicho embalse, la seguridad de riego mejora claramente en: valle del estero Los Litres y en Aconcagua entre Romeral y La Calera, ribera derecha, Rautén y valle del estero Limache
- Considerando la construcción del embalse Rabuco, la seguridad de riego mejora en forma importante en Rautén, Aconcagua entre Tabolango y Concón y en el valle de Limache
- En la primera sección (sector de Curimón), se podrían obtener a lo más un caudal medio anual de extracción de agua subterránea de poco mas de 3 m^3/s (aproximadamente 100 hm^3/año), con lo cual las recuperaciones en la 2ª sección se reducirían en cerca de 2 m^3/s.
- En el valle de Putaendo, es posible extraer al menos un volumen de agua subterránea de 25 hm^3 al año (sector de Rinconada de Silva y Las Barrancas).
- El estudio desarrollado se constituye en una herramienta que quedará en manos de la Dirección de Riego, para que a futuro se puedan evaluar situaciones específicas relacionadas con el uso de los recursos hídricos del valle del rio Aconcagua.

Además con dicha herramienta será posible analizar en forma integral los recursos hídricos superficiales y subterráneos del valle. Ello permitirá efectuar una mejor operación y administración del sistema.

2.1.1.7. Embalse de Regulación para el río Aconcagua. EDIC-Geotécnica Consultores, 2001.

El objetivo principal de este estudio fue demostrar la conveniencia, desde el punto de vista económico y social, de la construcción de un embalse en el sector de la cabecera del Estero Catemu.Para la evaluación del embalse Catemu frente a escenarios hidrológicos distintos, se generaron 50 series aleatorias, reordenando los registros históricos de los últimos 50 años.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Así, se logró alterar y modificar la extensión de los períodos secos o húmedos, permitiendo analizar la respuesta del sistema frente a escenarios más o menos desfavorables en términos de la secuencia de los años secos, pero con igual disponibilidad global de agua.

El modelo hidrológico de simulación usado en esta consultoría corresponde a una versión corregida y mejorada del modelo desarrollado por Ingendesa-AC en el "Estudio proyecto Aconcagua modelo de simulación hidrogeológico Valle del Río Aconcagua" en 1998.

Dentro de la descripción del anteproyecto, se consideraron las siguientes obras:

- **Presa y obras anexas**: Se consideró la construcción de un muro de presa del tipo CFDR, que permitiría embalsar un volumen total de agua de 255 hm^3, lo que dejará un volumen útil de 250 hm^3, quedando un volumen muerto del orden de 5 hm^3, que será ubicado en la cabecera del Estero Catemu aproximadamente 1 km aguas abajo de la confluencia de los Esteros Gómez y El Sauce, punto que constituye el nacimiento de dicho Estero. El cálculo del presupuesto de estas obras, a moneda de diciembre de 1997, considerando el dólar a $ 450 y la UF a $14.097, arrojó un resultado igual a US$ 105.845.592.

- **Canal alimentador**: Tendría por finalidad conducir el agua desde una bocatoma ubicada en el río Aconcagua hasta el embalse emplazado sobre el estero Catemu. Su capacidad de fijó en 20 m^3/s, caudal correspondiente al derecho de aprovechamiento de agua de carácter eventual que posee la DOH de Ministerio de Obras Públicas. El costo privado de esta obra, incluida la construcción de su bocatoma, con el valor del dólar y la UF ya expuestos, fue de US$ 35.078.954.
- **Adecuación del estero Catemu**: Se definió que era posible utilizar a este estero como canal de devolución de las aguas desde el embalse al río Aconcagua, para lo cual era necesario realizar algunas adecuaciones al cauce, que se diseñan a nivel de factibilidad en esta etapa. El caudal a conducir es del orden de los 30 m^3/s. El presupuesto calculado para estas obras, bajo las mismas premisas expresadas en los puntos anteriores, asciende a los US$ 1.838.036.

El estudio también incluyó una completa caracterización agroeconómica de las zonas beneficiadas, incluyendo el valle de Catemu.

Los contenidos de este estudio podrán servir de insumo tanto para el estudio hidrológico como para el agroeconómico.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.1.1.8. Estudio Integral de Riego de los Valles Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca. CICA, 1982

El proyecto integral de riego de los valles Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca tuvo como objetivo principal la evaluación de los recursos naturales disponibles para el desarrollo agropecuario de los valles mencionados, la formulación de programas de desarrollo integral de dichos recursos en las diferentes áreas del estudio así como un programa único para la totalidad del área.

Actividades realizadas durante el estudio:

- **Estudio de Suelos:** Permitió evaluar el recurso, tanto en la superficie regada como en la potencialmente regable, definiendo capacidad de uso, aptitud agrícola y categoría para el regadío, a nivel de zona, sector y canal.
- **Estudio Hidrológico:** Para evaluar los recursos de agua disponibles, se revisó, completó y extendió la información pluviométrica y fluviométrica existente, se efectuaron análisis de pérdidas y recuperaciones y se evaluaron los recursos de agua en las cuencas sin control fluviométrico. Además se realizaron estudios de crecidas y arrastre de sedimentos.
- **Estudio Hidrogeológico:** Este estudio permitió determinar el potencial de los acuíferos como fuente segura de agua y los volúmenes máximos de explotación recomendables a través de un modelo hidrogeológico y obtener los antecedentes necesarios para evaluar la inversión y los costos de operación involucrados en la explotación de los acuíferos.
- **Estudios de agronomía:** Estos estudios se llevaron a cabo con el fin de caracterizar la situación actual de la agricultura, identificar las principales limitantes para el desarrollo y proponer medidas conducentes a elevar los niveles de la agricultura en forma armónica con las soluciones de ingeniería civil.
- **Estudios de mercado**: Se realizaron estos estudio tanto para el mercado interno como externo con el objeto de determinar hasta que punto las capacidades del mercado de los principales productos agrícolas del área constituían una restricción a su desarrollo potencial.
- **Estudios socio-económicos:** Se estudiaron las condiciones socio económicas prevalecientes en el área del estudio con el objeto de asegurar el desarrollo agrícola, estableciendo los requerimientos en cuanto a crédito agrícola, asistencia técnica y comercialización.
- **Estudios de Ingeniería Civil y Obras de aprovechamiento:** Se comprobó que, si bien a nivel predial o sectorial existe un deficiente uso del agua, la eficiencia general a nivel de valle es bastante alta por el aprovechamiento sucesivo de las recuperaciones y retornos de los cauces. Por lo tanto la manera de extender e intensificar el regadío solo puede ser la de almacenar los

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

caudales sobrantes de crecidas en embalses superficiales, o de explorar los volúmenes almacenados en embalses subterráneos.

- **Estudios Varios:** Se efectuaron estudios sobre demografía, otros usos del agua (agua potable, minería) transporte, y comunicaciones, otros usos del suelo, calidad de las aguas.
- Estudios económicos. Se efectuaron diversos análisis tendientes a establecer los precios de los productos agrícolas y los costos de producción. También se analizaron aspectos micro-económicos de la producción a nivel predial con énfasis en las necesidades crediticias a lo largo de las diferentes etapas del desarrollo. Se evaluó cada uno de los componentes de los programas de desarrollo, maximizando el retorno neto a una tasa de descuento de 12%
- Se construyó un modelo de simulación de la operación del sistema de los cuatro ríos abarcados en estudio. Este modelo permitió representar la magnitud y frecuencia del déficit en cada uno de los sectores de riego en que se dividió el área.

Basado en lo anterior se procedió a identificar varias alternativas de desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos. Los estudios de factibilidad fisca de los embalses de Puntilla del Viento y de los Ángeles fueron realizados por la Dirección de Riego del MOP. Se analizaron diversas posibilidades de trasvase de una cuenca a otra, de explotación de acuíferos por medio de campos de sondajes, de elevaciones mecánicas, de obras de drenaje y de obras de mejoramiento del riego a nivel predial tales como embalses de regulación nocturna, revestimiento de canales.

2.1.2. Estudios de Recursos Hídricos e Hidrología

2.1.2.1. Estudio de Operación y Reparto de Aguas, Valle del Aconcagua. DOH-Conic BF, 2005

El objetivo principal de este estudio fue la realización de una modelación hidrológica operacional integral del sistema del río Aconcagua, que permita a la Mesa Técnica del Aconcagua (MTA), evaluar distintos escenarios de regulación – demanda, y así optimizar la gestión del agua de la cuenca.

Se contempla la posible introducción de nuevas obras de regulación y explotación, tanto superficial como subterránea, en la parte alta y media del valle del río Aconcagua.

En particular se evaluó el efecto en el riego del valle, de la construcción de tres embalses en la cabecera de la cuenca, de la incorporación de pozos de bombeo pertenecientes al Fisco, y el efecto del eventual uso consuntivo de la División Andina de CODELCO a los embalses proyectados.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Para tales efectos, se realizó la adecuación del modelo de simulación MOS-PS para la parte alta del Valle (primera sección de riego hacia aguas arriba), más el uso y algunas modificaciones menores del modelo MOS, perteneciente a la DGA. Este último para el análisis del resto de la cuenca (secciones segunda, tercera y cuarta).

A partir de un análisis general de los antecedentes con los que se cuenta, y tomando en cuenta los requerimientos establecidos por los principales usuarios de la cuenca, se plantea el desarrollo del trabajo según como se describe a continuación:

El informe se estructuró en base de seis capítulos y tres anexos en formato digital, de acuerdo con el detalle que se indica a continuación:

En el Capítulo 2, se presenta una descripción general de los modelos utilizados en el estudio: MOS, MOS-PS, modelos hidrogeológicos Modflow; la concepción de modelación y el modelo integrado del Valle del río Aconcagua.

- En el Capítulo 3, se incluyen las modificaciones introducidas en la estructura y operación de los modelos MOS y MOS-PS.
- En el Capítulo 4, se presentan los parámetros considerados en las simulaciones realizadas, además de los resultados respectivos.
- El Capítulo 5 muestra en forma resumida los resultados obtenidos en las simulaciones evaluadas. Además, se realiza el análisis de los escenarios simulados agrupados por objetivos de comparación.
- En el Capítulo 6, se presentan comentarios y conclusiones de los resultados obtenidos en las simulaciones.
- En el Anexo I, se muestra el detalle de la simulación para cada escenario planteado, de forma gráfica y tabular.
- En el Anexo II, se entrega el cálculo de la pérdida por infiltración en canales de riego por sectores del Valle del río Aconcagua.
- En el Anexo III, se presenta la estadística hidrológica base utilizada como entrada a al modelo MOS-PS.

2.1.2.2. Plan Director Para la Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Aconcagua. AC Ingenieros Consultores, 2000

Este estudio fue encargado por la DGA a la empresa consultora AC Ingenieros Consultores, y se completó el año 2000. Este estudio se presenta en 8 capítulos, que se describen brevemente en los siguientes párrafos.

En el Capítulo 1 se presenta la introducción al estudio, y posteriormente en el Capítulo 2 se presentan los objetivos y el alcance de este estudio. Posteriormente, en el

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Capítulo 3 se presenta la descripción de la cuenca incluyendo sus características físicas, situación administrativa, y sus condiciones socio-ecomómicas, y también la revisión de los estudios anteriores que permiten caracterizar la situación de la cuenca, tanto a nivel parcial como total.

El Capítulo 4 incluye el diagnóstico de los recursos hídricos, para lo que en primer lugar se cuantifican los recursos tanto superficiales como subterráneos, incluyendo las redes de medición del recurso. Posteriormente se presenta la caracterización de las demandas de agua de riego, agua potable, energía, industria, y minería. Se continúa el capítulo con un análisis de la disponibilidad de aguas mediante balances simples, y la aplicación de un modelo de simulación. Por último, el diagnóstico se completa con una caracterización ambiental de la cuenca en lo que respecta a contaminación hídrica, manejo del suelo, cauce y la biodiversidad en la cuenca.

Posteriormente, en el Capítulo 5 se presenta el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos en la cuenca, para lo cual se identificaron preliminarmente a los actores principales de la cuenca, los que posteriormente fueron entrevistados. También se incluye un análisis de las instituciones públicas y privadas en lo que respecta a la gestión de los recursos hídricos. Se continúa con el análisis del mercado de aguas, y se concluye con los resultados del taller participativo en el que se recomiendan objetivos y estrategias para la cuenca.

El Capítulo 6 se refiere a la identificación de los problemas y conflictos existentes en la cuenca, en particular a lo que se refiere con problemas de disponibilidad de recursos hídricos, ambientales, y finalmente problemas relacionados con las instituciones y la gestión.

En el Capítulo 7 se presenta la evaluación, priorización y clasificación de soluciones, y se concluye con la formulación del plan director, el que se divide en soluciones de corto, mediano, y largo plazo.

Finalmente, en el Capítulo 8 se presenta la implementación del plan director, en el que se recomiendan medidas para su implementación y su posterior actualización en el tiempo.

2.1.2.3. Catastro de Usuarios de Agua de la Segunda Sección del Río Aconcagua y Canal el Melón V Región. REG Ingenieros Ltda.- DGA, 1989

Este estudio tuvo como objetivo la realización del catastro de usuarios de agua por canal, para todos los canales de la segunda sección del río Aconcagua, incluyendo además memorias por cada canal, Asociaciones de Canalistas y Juntas de Vigilancia, planos en escala 1:10.000 que indican la red de distribución y límites prediales de los distintos usuarios. Todos estos antecedentes fueron recopilados en distintos organismos públicos y privados, Conservadores de bienes raíces y principalmente mediante aplicación de encuestas y trabajo de terreno.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fue así como se confeccionaron los listados de usuarios, identificando si los regantes estaban inscritos legalmente, definiendo fuente de abastecimiento, número de acciones o partes alicuotas, sistema legal de distribución y superficie regada.

2.1.2.4. Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Aconcagua, Informe Técnico S.D.T. 165. DGA, 2004

La Dirección General de Aguas debe entre sus funciones asignadas, administrar el recurso hídrico para constituir derechos de aprovechamiento superficiales sin causar afección a derechos de terceros ni al medioambiente; el aumento de los desarrollos antes mencionados, ha llevado a una creciente demanda por los recursos hídricos en la cuenca del Aconcagua, lo que hace necesario efectuar un ordenamiento y cuantificación de dicha demanda y un análisis de la situación actual de los recursos superficiales de la cuenca.

El objetivo principal de este estudio fue determinar en forma global y detallada, a nivel de cuencas y subcuencas, la situación en que se encuentra la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales de la cuenca del río Aconcagua. La determinación de la demanda en la referida cuenca está basada en trabajos realizados en la Dirección Regional DGA V Región, y en el Departamento de Administración de Recursos Hídricos, y considera el levantamiento de solicitudes presentadas en la Dirección General de Aguas hasta diciembre de 2001.

La información presentada por este estudio será usada como antecedente para conocer los caudales de extracción y acciones de los canales en estudio dentro del diagnóstico de los derechos de aguas contemplado en la presente consultoría (capítulo 3 del presente informe).

2.1.2.5. Informe de Canales de Riego y Aforos de la Cuenca de la Segunda Sección del Río Aconcagua, Provincia de San Felipe. Alberto Undurraga, 1998

En el año 1998, los directores de la Junta de Vigilancia de la Segunda sección del Aconcagua, encargaron al ingeniero Alberto Undurraga Undurraga, un informe de aforos de todos los canales presentes en la sección, con el fin de conocer los caudales reales de aguas que escurren por dichos canales de riego, su ubicación y las características de sus bocatomas. También tuvo como objetivo estimar las capacidades máximas de porteo, entre otras cosas.

La información presentada por este estudio será usada como antecedentes para conocer los caudales de extracción de los canales en estudio dentro del diagnóstico de los derechos de aguas contemplado en la presente consultoría (capítulo 3 del presente informe).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.1.2.6. Balance Hídrico de Chile. DGA, 1987

El proyecto Balance Hídrico de Chile se comenzó en 1983, por parte de la Dirección General de Aguas, prolongándose la etapa de ejecución de estudios básicamente hasta el año 1986. Durante el año 1987 se efectuó una detallada revisión de los informes parciales, desarrollados principalmente a través de consultores, y se preparó una versión resumida, adecuada para su edición a nivel nacional.

Dentro de los resultados principales del proyecto, se encuentra un conjunto de gráficos y tablas que sintetizan valores y tendencias en niveles regionales, y que describen el comportamiento global de algunas variables utilizadas en el balance hídrico.

Actualmente este consultor posee las cartografías resultantes de este estudio en formato shape para ser utilizado en software de SIG.

La información contenida en este estudio servirá de base para la definición del catastro de usuarios que serán beneficiarios del proyecto, todo lo cual se incluiría en el estudio Agroeconómico.

2.1.3. Estudios de Carácter Agronómico

2.1.3.1. Atlas Agroclimático de Chile: Regiones V y Metropolitana. Universidad de Chile, 1993

El Atlas agroclimático de las Regiones V y Metropolitana, corresponde a un estudio realizado por el Departamento de Agroclimatología de la Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales de la Universidad de Chile, publicado en 1990. En él se entregan cartografías de los distintos distritos agroclimáticos en escala 1:500.000 y una completa caracterización de los mismos a través de un conjunto de variables agroclimáticas entre las cuales pueden mencionarse los días grado, horas de frío, evapotranspiración potencial, períodos secos y húmedos, déficit y excedentes hídricos, entre otros.

Este consultor posee dichas cartografías y variables, ya digitalizadas en formato *shape* para ser usadas en SIG, información que será de utilidad para el estudio Agroeconómico principalmente.

2.1.3.2. Descripciones de Suelos. Estudio Agrológico V Región. CIREN, 1997

La información de esta publicación corresponde a la actualización, complementación y homogeneización de los Estudios de Suelos realizados por diferentes instituciones en la Quinta Región, complementada con los Materiales y Símbolos. Dentro de la información resultante de este estudio se destacan además las cartografías de suelos en formato digital (SIG), las cuales también han sido adquiridas para el estudio.

Los estudios utilizados en la actualización de la V Región son:

- Estudio Agrológico de los Valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca, efectuado por la Comisión Nacional de Riego en 1979
- Estudio Agrológico del Proyecto Maipo, efectuado por la Comisión Nacional de Riego en 1980
- Estudio Agrológico del Sector Las Brisas, de la Comuna de Santo Domingo, efectuado por el Servicio Agrícola y Ganadero, SAG. en 1984
- Estudio de Suelos de Secano de la V Región, efectuado por CIREN en 1994
- Estudio Agrológico de la Costa VI Región, que incluye un sector ubicado en la V Región, efectuado por SERPLAC VI Región en 1977.

2.1.3.3. Clasificación de las Explotaciones Agrícolas del VI Censo Nacional Agropecuario Según Tipo de Productor y Localización Geográfica. ODEPA, 2000

El Estudio buscó describir la realidad de la agricultura para destacar aspectos claves en la formulación de una estrategia de desarrollo agrario.

Por una parte, además de la información comunal, se incorporan como unidades de análisis las áreas agroecológicas homogéneas, que sugieren potenciales de desarrollo agrícola diferenciados que deben ser considerados al momento de diseñar la política sectorial. Por otra parte, se ha complementado la tradicional estratificación de las explotaciones basada en la exclusiva consideración de su superficie física, con criterios más comprensivos que, además de la superficie, incluyen niveles de inversión y uso de tecnología. De esta manera, combinando un conjunto de variables se ha ensayado una clasificación, en la que se han identificado y descrito cuatro grandes tipos de explotaciones - productores de subsistencia, pequeños productores empresariales, medianos y grandes productores.

Los resultados de dicho análisis servirán para determinar la estructura productiva por estrato de productores agrícolas en cada zona de riego existente en el área de Estudio.

Además, la información comunal será contrastada con los resultados del VII Censo Nacional Agropecuario (2007), y así determinar para cada comuna las variaciones existentes por rubro, y en forma ponderada para cada zona de riego.

La información entregada por el estudio acá descrito será usada como antecedente para el estudio Agroeconómico.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.1.3.4. Cálculo de Superficie Regada por Medio de Tecnología de Sensores Remotos. CNR-Centro de Estudios Espaciales, 2004

La Comisión Nacional de Riego (CNR) del Ministerio de Agricultura de Chile encargó al Centro de Estudios Espaciales (CEE) de la Universidad de Chile el cálculo de la superficie total regada para las regiones de Valparaíso, del Libertador Bernardo O'Higgins y Metropolitana utilizando imágenes multiespectrales satelitales de alta resolución espacial.

Esta acción respondió a la inquietud de la CNR y del CEE por determinar la superficie bajo riego utilizando un sistema de análisis digital de imágenes especialmente diseñado para la clasificación supervisada, el cual asegura un mejor desempeño funcional y resultados más confiables. Debido a que dicho sistema de análisis de imágenes no había sido anteriormente utilizado, fue necesario contar con un período de aprendizaje previo a la obtención de los resultados. Es por ello que este proyecto tuvo un carácter exploratorio, y buscó, entre otras cosas, evaluar el desempeño del nuevo sistema de análisis y clasificación de imágenes.

En el informe final de este estudio se realiza un recorrido sumario del proyecto donde se detallan las características de las imágenes satelitales utilizadas, así como los procesos a los que fueron sometidas. Además, se señalan las fuentes de información de terreno recolectada en conjunto con la CNR y se entregan los resultados de los procesos de clasificación en formato de imágenes temáticas y tablas por región y rubro de cultivo.

Actualmente este consultor posee las cartografías resultantes de este estudio en formato *shape* para ser usadas en SIG, las cuales serán usadas como antecedentes en el estudio agroeconómico.

2.1.3.5. Análisis General del Impacto Económico de Normas de Calidad de Aguas del Río Aconcagua en el sector Silvoagropecuario. Geográfica, 2005

El presente estudio realizado por el SAG a través de la Consultora Geográfica EIRL en el año 2005, incluye los siguientes contenidos:

- Identificación de los rubros productivos del sector silvoagropecuario que se verán potencialmente impactados con la implementación de la norma secundaria de calidad de aguas, es decir aquéllos que utilizan para sus actividades agua proveniente del río y/o sus tributarios.
- Caracterización de la actividad económica silvoagropecuaria de la cuenca, asociada a la calidad de los recursos hídricos. Esta caracterización tuvo por objetivo relevar la importancia relativa de la calidad del agua para el desarrollo de la actividad silvoagropecuaria actual y futura, orientada tanto a mercado interno como de exportación.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Entregar de información generada, en forma de tablas y coberturas, para ser ingresada al Sistema de Información Geográfico (SIG) que dispone el Servicio Agrícola y Ganadero, SAG.

Como conclusión general se obtuvo que la implementación de la Norma Secundaria de calidad de Agua del río Aconcagua resulta beneficiosa para el sector agrícola ya que al reducir los niveles contaminantes en el agua de riego, ya que:

- Permite la certificación de protocolos de calidad cada vez más exigentes en materia medioambiental lo que se traduce en la apertura de nuevos mercados de exportación y la consolidación de los existentes.
- Reduce las pérdidas de productividad por alteración de las características físicoquímicas y microbiológicas del suelo.
- Reduce las pérdidas de productividad al disminuir las manifestaciones de fototoxicidad sobre los cultivos.
- Reduce los costos involucrados en el mantenimiento de los sistemas de riego tecnificado, maquinarias e implementos de aplicación y limpieza de infraestructura de almacenamiento de agua de riego.

En la presente consultoría, el estudio descrito se utiliza como antecedente en el Estudio Agroeconómico.

2.1.3.6. Compendio Estadístico Silvoagropecuario 1990-2004. ODEPA, 2007

Publicación con series estadísticas nacionales y regionales de los principales indicadores del sector silvoagropecuario para el período 1990-2004. En el presente documento se encuentra la siguiente información:

- Estadísticas macrosectoriales
- Estadísticas productivas

2.1.3.7. Información Estadística Censo Agropecuario 1997 y 2007. INE, 1997- 2007

Hasta el presente, se han levantado siete Censos Nacionales Agropecuarios, los que fueron realizados en los años 1930, 1936, 1955, 1965, 1976, 1997 y 2007.

Los Censos Nacionales Agropecuarios permiten apreciar la realidad de nuestros recursos silvoagropecuarios, posibilitando el conocimiento de la evolución que ha experimentado cada uno de los rubros que conforman este sector. Sirve de base, además, para medir a través de un sistema de estadísticas continuas, el comportamiento de todo este sector en el período intercensal.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Una de las características particulares del Censo es que permite entregar información al mínimo nivel de detalle, tanto a nivel territorial (comuna y distrito), como a nivel de tamaño de los productores y explotaciones agrícolas por cada una de las variables. Otra característica, es que el censo por su carácter de universalidad es detector de nuevas actividades agrícolas.

Esta base estadística es un insumo primordial para identificar el estado de la actividad agrícola, la cual es altamente dinámica a lo largo del tiempo y del espacio.

Para la presente consultoría, esta información sirve como antecedente para el Estudio Agroeconómico.

2.1.3.8. Catastro Frutícola: Principales Resultados. Región de Valparaíso. CIREN, 2008

Corresponde a un trabajo de recopilación y síntesis de datos a nivel regional sobre producción frutícola, realizado por el Ministerio de Agricultura y CIREN en 2008. Incluye principalmente, los siguientes tópicos:

- Superficie plantada en la región
- Superficie plantada por especie a nivel comunal
- Producción informada
- Infraestructura y Agroindustria

Los resultados de dicho análisis servirán para como antecedente en el estudio agroeconómico, puntualmente para determinar, en forma preliminar, la estructura productiva por estrato de productores agrícolas en cada zona de riego existente en el área de Estudio.

2.1.3.9. Catastro Vitícola Nacional 2009. SAG, 2009

La Ley 18.455 que regula la producción y comercialización de las bebidas alcohólicas y vinagres, publicada el 11 de noviembre de 1985, le encarga al Servicio Agrícola y Ganadero, llevar un Catastro del Viñedo Chileno con la información actualizada de todos los propietarios o tenedores de viñas y parronales.

Es así, como en el año 1985 se confeccionó el catastro nacional en esta materia, el cual se reactualizó completamente el año 1993 y desde ese año a la fecha, se mantiene al día.

La motivación del Servicio de presentar anualmente este Catastro del Viñedo Chileno, obedece a la necesidad de aportar antecedentes estadísticos que sirvan para enfrentar en forma consistente, la implementación de políticas adecuadas al desarrollo del

sector, el control de la zonificación viticola y denominaciones de origen de vinos, como también, una adecuada toma de decisiones de los diferentes agentes que intervienen en esta área de la agricultura chilena.

Esta actualización del año 2009, recoge la información de nuevas plantaciones no censadas a esta fecha, como también se ha verificado la información disponible en aquellas referencias que hubieren sufrido variaciones recopilando los antecedentes nuevos de estos predios. Se trabajó con una cartografía de terreno, definiéndose como plantación comercial a la superficie ocupada con viñas o parronales, de tamaño igual o superior a 0,5 ha.

2.1.3.10. Determinación y Evaluación de Fragilidad de Laderas en la Cuenca de Casablanca y en las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Petorca, La Ligua y Aconcagua, V Región. SAG-CIREN, 2007

El Centro de Información de Recursos Naturales CIREN, entidad ejecutora, con el financiamiento de INNOVA CHILE de CORFO y en conjunto con la Secretaria Regional Ministerial de Agricultura de la V Región y del Servicio Agrícola y Ganadero, SAG, pertenecientes al Ministerio de Agricultura, se propuso cuantificar para las cuencas de Petorca, La Ligua, Casablanca y Aconcagua, la superficie correspondiente a frutales plantados en laderas. Cuyo objetivo general es determinar la situación de fragilidad o vulnerabilidad, tanto para las zonas en Laderas plantadas con frutales como para las potenciales de ser plantadas.

En esta publicación se presenta un resumen de los resultados obtenidos que dan cuenta del modelo de vulnerabilidad y riesgo aplicado; de la superficie existente, a febrero del año 2007, de frutales en laderas sobre el 8% de pendiente; de la cobertura de vegetación reemplazada; de los predios que se encuentran involucrados en las zonas de riesgo y, de la percepción que tienen de las plantaciones en Ladera, los agricultores de Los valles de las cuencas hidrográficas de Petorca, La Ligua, Aconcagua y la cuenca de Casablanca.

Así mismo, la publicación entrega todos los antecedentes cartográficos generados, para permitir apoyar el ordenamiento territorial de las cuencas estudiadas. Este levantamiento se realizó mediante campaña de terreno utilizando como información base la proveniente del Catastro Frutícola Nacional de CIREN, aplicando como elemento de verificación, además de las imágenes satelitales Landsat TM, las imágenes Quickbird e IKONOS, cuyas resoluciones de 2,4 m y 4 m respectivamente, permiten obtener un mayor detalle y minimizar los errores de comisión y omisión.

Posteriormente, se desarrollan y presentan los índices físico-ambiental, biológico y antrópico, los que conforman el modelo de vulnerabilidad aplicado que entrega como resultado la jerarquización del territorio en las clases baja o nula, moderada, alta y muy alta vulnerabilidad. Finalmente, en estas zonas, en conjunto con la actual distribución de plantaciones en laderas, se determina el riesgo de cada cuenca estudiada y mediante una

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

encuesta a los agricultores se obtuvo la percepción socio económica del problema, cuyo resultado se presenta en forma resumida.

Estos resultados y el sistema de información creado, en conjunto con los documentos que el SAG ha elaborado para la conservación de suelos en las laderas, integran los instrumentos necesarios y útiles para la proposición de medidas de mitigación de riegos de erosión y conservación de suelos, así como también para avanzar hacia plantaciones con prácticas ambientalmente sustentables.

Esta información será utilizada principalmente para el estudio agroeconómico.

2.1.4. Estudios de Carácter Ambiental

2.1.4.1. La Vegetación Natural de Chile. Gajardo, 1994

Este estudio ofrece una clasificación jerárquica de la vegetación natural de Chile y presenta una cartografía de las formaciones vegetales del territorio chileno. Fue elaborada con el apoyo de las más avanzadas tecnologías, incluidas imágenes satelitales, y se complementa con apéndices de gran utilidad para especialistas. Entrega información indispensable para el estudio del paisaje vegetal, así como para el desarrollo de la planificación regional y nacional.

Actualmente, este consultor posee las cartografías resultantes del estudio acá descrito en formato *shape* para ser usado en SIG.

2.1.4.2. Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. CONAF-CONAMA, 1999

Este estudio contiene los mapas y resultados finales del país del uso actual de la tierra y sus relaciones con las variables ambientales, pendiente, exposición y rangos de altitud.

El documento consta de dos partes: I. Análisis global, en el cual se presentan y comentan los cuadros y cifras más relevantes para el país y II. Análisis detallado con cuadros desagregados por Región.

Además entrega mapas digitales en formato *shape* (SIG), en escala 1:50.000 para el caso de la Región de Valparaíso, los cuales se encuentran actualmente en posesión de este consultor.

Esta información será usada para el estudio de análisis ambiental.

2.1.4.3. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Aconcagua. DGA-CADE-IDEPE, 2004

En este estudio se comienza presentando una completa descripción y caracterización de la cuenca. Posteriormente se presenta la recopilación de antecedentes para la base de datos del estudio, incluyendo antecedentes hidrológicos, descargas a cursos de agua según tipo, contaminación por pesticidas, y calidad de aguas. A continuación, se presentan las bases metodológicas para la evaluación de la calidad del agua, y el consiguiente análisis espacio-temporal de la calidad del agua. Finalmente, se incluye la clasificación de los cursos de agua en términos de la calidad objetivo, indicando requerimientos de calidad según tipo de uso.

La información entregada por este estudio servirá como antecedente en el Estudio Agroeconómico y de Estudio de Análisis Ambiental en lo que respecta a las temáticas de calidad de aguas.

2.1.4.4. Estrategia Regional de Biodiversidad Región de Valparaíso. CONAMA V Región, 2005

Esta estrategia es una iniciativa coordinada por CONAMA Región de Valparaíso, su formulación se desarrolló entre Agosto y Diciembre de 2002, con una fase de validación sectorial y aprobación por parte de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la región de Valparaíso en junio de 2005. Contó con 3 etapas: Diagnóstico, Realización de Talleres Regionales y Elaboración de la Estrategia.

El objetivo general fue la elaboración de la estrategia propiamente tal y un plan de acción a 2 años para 10 sitios prioritarios, con el fin de garantizar la conservación de las especies y de los ecosistemas naturales en la región de Valparaíso.

Esta información será utilizada en el estudio de análisis ambiental.

2.1.4.5. Desarrollo de una Metodología para la Evaluación y Mitigación de la Contaminación de Aguas y Suelo: Aplicación a la Cuenca del Río Aconcagua. SAG-Universidad Mayor, 2005

En este estudio se presenta el "Desarrollo de una metodología para la evaluación y mitigación de la contaminación de aguas y suelo: Aplicación a la cuenca del río Aconcagua". Con objeto de evaluar y mitigar la contaminación de aguas y suelos de una cuenca hidrográfica, la cual se encuentra descrita en detalle en el tomo I del informe final del proyecto y donde se entrega una secuencia de los aspectos metodológicos ordenados por capítulos, en forma sintética, con el objeto de orientar al lector en la consulta del informe completo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail oficina@arrauingenieria.cl

El desarrollo de la metodología consideró cumplir objetivos generales y específicos, mediante la ejecución de tres fases que se explican a continuación.

- **Objetivo General:** Evaluar los niveles de contaminación del agua, los suelos y la fauna silvestre asociada a éstos en la cuenca del río Aconcagua y posteriormente proponer medidas de prevención, control y mitigación, las cuales permitirán disminuir los niveles de contaminación de los recursos hídricos y del suelo utilizados en la producción agropecuaria de dicha cuenca.

- **Objetivos Específicos:**

  - Elaborar una carta de usos del suelo de la cuenca del río Aconcagua. Esta carta fue elaborada a partir de fotointerpretación de imágenes satelitales del 2002 con posterior chequeo en terreno. El resultado corresponde a un mapa digital de los distintos cultivos presentes en la cuenca del Aconcagua, entrega en formato *shape* (SIG).
  - Recopilar (actualizar) información de uso de plaguicidas y fertilizantes en la cuenca del río Aconcagua.
  - Realizar un catastro de las industrias que captan agua de proceso y descargan sus efluentes directa o indirectamente al río Aconcagua o alguno de sus afluentes.
  - Determinar las características físicas, químicas, microbiológicas y ecotoxicológicas de las aguas superficiales del río Aconcagua y sus principales afluentes en áreas de uso agropecuario y descarga de efluentes industriales y domésticos.
  - Determinar las características físicas, químicas, microbiológicas y ecotoxicológicas de las aguas subterráneas en áreas de actividad agropecuaria en la cuenca del río Aconcagua.
  - Determinar las características sedimentológicas del río Aconcagua y sus principales afluentes.
  - Determinar las características de los suelos de uso agropecuario en la cuenca del río Aconcagua.
  - Implementar una base de datos a través del Sistema de Información Geográfica (SIG), que permitirá integrar la información para una mejor interpretación y comprensión de los resultados.
  - Aplicar modelos de evaluación de la calidad ambiental de las aguas del río Aconcagua, bajo diferentes condiciones.
  - Elaborar una carta de calidad ambiental de suelos, aguas superficiales y subterráneas, en función de los parámetros ambientales medidos y considerando los criterios de calidad de usos definidos por la CONAMA, que

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

sirva como modelo para ser aplicados a otras cuencas de similares características

- Diseñar un programa de monitoreo y vigilancia ambiental para fines de fiscalización, que permita el seguimiento de la calidad ambiental de la cuenca y que sea aplicable a otras cuencas hidrográficas de la zona central de Chile.
- Elaborar un plan de vigilancia ambiental de las medidas tomadas, basado en las variables ambientales que mejor evidencien los impactos antrópicos sobre los compartimentos ambientales considerados en el presente estudio.
- Informar a la comunidad acerca de los alcances del estudio y su aplicación.
- Proponer medidas jerarquizadas de mitigación, con relación a usos actuales y potenciales de la actividad agropecuaria.
- Evaluación económica de las medidas propuestas

La información entregada por este estudio servirá como antecedente en el Estudio Agroeconómico y de Estudio de Análisis Ambiental en lo que respecta a las temáticas de uso de suelos, contaminación de suelos y calidad de aguas.

2.1.4.6. Sinopsis Bioclimática de Chile. Pliscoff y Luebert, 2006

Este estudio ofrece una visión sinóptica de los bioclimas y de la vegetación de Chile continental, a partir de la aplicación de una metodología que consiste en combinar información bioclimática y vegetacional, sobre la base del estudio de las fuentes documentales disponibles. Esta propuesta identifica 4 macrobioclimas en Chile continental: Tropical, Mediterráneo, Templado y Antiboreal, dentro de los que se distribuyen 12 bioclimas. La clasificación de la vegetación se compone de 127 unidades básicas denominadas Pisos de Vegetación, que corresponden a complejos de comunidades vegetales bajo la influencia de condiciones climáticas específicas, que se agrupan en 17 Formaciones Vegetales.

Finalmente se presenta un análisis del estado de conservación de la vegetación de Chile sobre la base de la proporción en que cada piso de vegetación ha sido reemplazado por actividades humanas y de su representación en las áreas protegidas del Estado.

Actualmente, este consultor posee la cartografía resultante de pisos vegetacionales en formato *shape* (SIG), la cual ha sido obtenida del sitio web del Sistema de Información Ambiental SINIA, dependiente de CONAMA. Esta información será utilizada principalmente dentro del estudio de análisis ambiental.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.1.4.7. Anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Aconcagua. CONAMA, 2008

Mediante la Resolución Exenta Nº 1633, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, de Noviembre de 2004, se dio inicio a la elaboración del anteproyecto de "Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas de la Cuenca del río Aconcagua, en la Región de Valparaíso".

Los principales aspectos considerados en el anteproyecto son:

- Antecedentes generales de la cuenca y su fundamentación
- Objetivos, ámbitos de aplicación y definiciones
- Identificación de los niveles de calidad ambiental por áreas de vigilancia

El objetivo general del presente anteproyecto, es proteger, mantener y/o recuperar la calidad de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua, de manera de salvaguardar el aprovechamiento del recurso hídrico, la protección y conservación de las comunidades acuáticas, la vida silvestre y de los ecosistemas, maximizando los beneficios ambientales, sociales y económicos.

Dentro de la información generada en este proceso, se han establecido diferentes áreas de vigilancia (segmentos de río) de la contaminación del agua y los límites máximos para diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos.

Es importante mencionar además, la importancia que adquirirá a futuro el desarrollo de modelos sobre la calidad del agua para la cuenca motivo del presente estudio, debido a las implicancias ambientales positivas que logra a través de la modernización de la gestión de los recursos hídricos, no sólo en cuanto a cantidad si no que también a través de la calidad.

Este anteproyecto de norma se utilizará como antecedente dentro de la presente consultoría, en los temas relacionados con calidad de aguas, principalmente en medio ambiente y agroeconomía.

2.1.4.8. Determinación de Erosión Actual y Fragilidad de Suelos en la V Región Utilizando Datos Satelitales y SIG. CIREN-CORFO, 2009

Este estudio fue ejecutado por CIREN en convenio con CORFO a partir de noviembre de 2006 para finalizar en mayo de 2009.

El objetivo principal fue cuantificar la erosión actual y determinar en forma espacial la fragilidad del suelo, a nivel de semidetalle (escala 1:50.000) para las áreas de secano norte chico, secano costero, secano interior y precordillera de las Provincias de Petorca, San Felipe y Los Andes de la V Región y, a nivel predial (escala 1:10.000), las comunas de Petorca, La Ligua, Cabildo, Casablanca, Putaendo y San Esteban Precordillera, en el marco de los requerimientos del nuevo estatuto de fomento forestal chileno.

La información obtenida del desarrollo del proyecto permite dimensionar e identificar, a escala 1:50.000 y a 1:10.000, las zonas de erosión actual, para efectos de recuperarlas a la brevedad posible y, por otra parte, la erosión potencial, que permite orientar los planes de manejo y los subsidios públicos, prevenir y disminuir las futuras pérdidas, de tal forma de contribuir a la sustentabilidad agroalimentaria del país. Los beneficiados directos son las instituciones públicas y los propietarios grandes, medianos y pequeños que al disponer del conocimiento les permite manejar los suelos con criterios de sustentabilidad y lograr rendimientos sostenidos.

Los resultados obtenidos son el producto de una metodología que en Chile se ha venido implementando en la última década por las instituciones participantes e incorpora tecnologías de punta y procesamiento de datos satelitales de alta resolución espacial y espectral que proveen los actuales satélites LANDSAT y QUICK BIRD.

En la presente consultoría la información entregada por el estudio antes descrito será utilizada como antecedente para el Estudio Agroeconómico y para el Estudio de Análisis Ambiental.

2.1.5. Estudios Varios

2.1.5.1. Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial de Chile. CNR-CIREN, 1997

Este estudio corresponde a un instrumento de información técnica de la Comisión Nacional de Riego, que surge en el marco de las postulaciones a la ley 18.450, se hizo necesario contar con una evaluación sistemática de la evapotranspiración potencial en todo el territorio nacional, de modo de eliminar la heterogeneidad en la estimación de los valores presentados por los proyectistas, igualando las condiciones en la participación.

El objetivo principal fue disponer de una cartografía que dé cuenta del comportamiento espacial de la evapotranspiración potencial, con el propósito de estimar este parámetro en cualquier punto del territorio nacional continental. Para ello, fue confeccionada una cobertura de isolíneas georreferenciadas que permite la fácil ubicación de los proyectos de riego.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

Actualmente este consultor posee la cartografía de isolíneas de Evapotranspiración potencial en formato *shape* para ser usada en SIG, para ser usadas principalmente en el estudio agroeconómico.

2.1.5.2. Sistema Integral de Riego Electrónico (e-SIIR). CNR, 2002

Este sistema es una herramienta que busca poner al alcance del mayor número posible de usuarios (consultores, agricultores y estudiantes, entre otros), información en formato SIG (cartografías digitales shape) a escala nacional, regional y comunal sobre distintas coberturas relacionadas con el subsector riego.

El Sistema de Información Integral de Riego, surge como resultado del estudio "Diagnóstico de Riego en Chile" (2000 – 2002).

Es un Sistema de Información Geográfica, con una cobertura a nivel de todo el país y con una cartografía base a escala 1: 50.000

Contiene información de aguas superficiales, aguas subterráneas, infraestructura de riego, medioambiente, agroclima, clasificación y uso del suelo, entre otras.

Entre las instituciones que colaboran, destacan la Dirección General de Aguas (DGA), la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y diferentes organizaciones de regantes. Lo anterior representa un gran logro del sistema ya que permite concentrar en un solo punto mucha información que anteriormente los usuarios debían buscar en diferentes instituciones y muchas veces en distintos puntos del país.

Actualmente, este consultor posee la información del SIIR para la Región de Valparaíso, la cual será utilizada en una amplia gama de temas relacionados con la presente consultoría, ya sea agroeconómía, medioambiente, hidrología, infraestructura, ingeniería, participación ciudadana, etc.

2.1.5.3. Mapa de Propiedades Rurales S.I.I., Actualización 1997-2007. CIREN, 1997-2007

Esta información corresponde a una cartografía digital en formato *shape* (SIG), en escala 1:10.000, que es generada por CIREN. Dicha información es proporcionada a CIREN por el Servicio de Impuestos Internos, y en ella se han considerando todos los cambios ocurridos en relación con los deslindes de la propiedad informados por el S.I.I. incluyendo las nuevas subdivisiones en los predios o la fusión de los mismos, que son los cambios más frecuentes que produce el mercado inmobiliario rural. Esta información gráfica se conecta con el Rol de Extracto Agrícola REA, que es una base de datos alfanumérica que maneja el S.I.I.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Esta información se utiliza en la presente consultoría principalmente en el estudio agroeconómico.

2.1.5.4. Plan Regulador Comunal (PRC) Propuesto. Municipalidad de Catemu - JL Consultores, 2010

Los planes reguladores son instrumentos de ordenamiento territorial que se encuentran contemplados en la legislación vigente, específicamente en la Ley General de Urbanismo y Construcciones (DFL N° 458, 1976).

Específicamente se encuentran definidos en el artículo 41, el que dice "es un instrumento constituido por un conjunto de normas sobre adecuadas condiciones de higiene y seguridad en los edificios y espacios urbanos, y de comodidad en la relación funcional entre las zonas habitacionales, de trabajo, equipamiento y esparcimiento. Sus disposiciones se refieren al uso del suelo o zonificación, localización del equipamiento comunitario, estacionamiento, jerarquización de la estructura vial, fijación de límites urbanos, densidades y determinación de prioridades en la urbanización de terrenos para la expansión de la ciudad, en función de la factibilidad de ampliar o dotar de redes sanitarias y energéticas, y demás aspectos urbanísticos".

Para el presente estudio se tiene como antecedentes el Plan Regulador Comunal de Catemu propuesto, realizado por JL Consultores en Marzo 2010, cuya formulación está sustentada en una hipótesis de desarrollo elegida y denominada Alternativa Proactiva para el futuro desarrollo comunal. Esta hipótesis de desarrollo supone un crecimiento poblacional urbano controlado que sin embargo significará una perdida acelerada del medio rural. Este PRC propuesto vendría a reemplazar el PRC vigente del año 1984.

En este escenario de crecimiento leve de la población se establecen las demandas directas de nuevas superficies urbanas necesarias, las que presentan una magnitud poco significativa y provista por el territorio urbano propuesto. A estas áreas urbanas destinadas a satisfacer las demandas directas previstas, se ha adicionado en la perspectiva de la variable ambiental, un conjunto de áreas también urbanas de importante magnitud, y orientadas a incrementar la protección y el desarrollo de valores naturales y ambientales, en pro del bien común. A tal efecto, la propuesta del PRC de Catemu, incorpora una normativa sustentada en el uso de criterios mixtos tanto de regulación como también de incentivos.

Los objetivos centrales en la elaboración del PRC de Catemu fueron los siguientes:

- Contar con un Instrumento de Planificación Territorial (ITP) Urbano de nivel Comunal actualizado y concordante con la nueva legislación vigente, para lo cual se reformula y actualiza el ITP comunal aún vigente.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Formular una propuesta de ordenamiento futuro y de organización del sistema construido, previendo las necesidades de espacio y localización de actividades más adecuados; haciendo compatibles las distintas actividades en el espacio habilitado y generando mayor sustentabilidad al desarrollo comunal, y una calidad morfológica que agregue valor y habitabilidad al conjunto.
- Establecer – en pro del logro de los objetivos - disposiciones respecto a la definición de las zonas urbanas comunales, a través de límites urbanos, a los usos urbanos del suelo permitidos, a través de la zonificación, densidades e intensidad de utilización del suelo, localización del equipamiento comunitario, definición y jerarquización de la estructura vial, estacionamientos. La definición de prioridades en la urbanización de terrenos para la expansión de la ciudad, en función de la factibilidad de ampliar o dotar de redes sanitarias y energéticas, y demás aspectos urbanísticos.

La información contenida en este instrumento es de utilidad transversal para el estudio, por la naturaleza de los antecedentes contenidos en él y su línea de base.

2.2. ANTECEDENTES CARTOGRÁFICOS Y ESPACIALES

Los antecedentes cartográficos que se encuentran a disposición del consultor para el presente estudio se enlistan a continuación, en el Cuadro 2.2 acompañado de una breve descripción. Dichas cartografías se encuentran en formato *shape,* para ser desplegadas y procesadas en software de Sistemas de Información Geográfica (SIG), a partir de lo cual, se pueden exportar las distintas capas de información a otros programas como Autocad.

CUADRO 2.2
ANTECEDENTES CARTOGRÁFICOS

TEMÁTICA	COBERTURA	INSTITUCIÓN Y/O FUENTE
Mapa político	División Político Administrativa (1:50.000)	e-SIIR CNR
Mapas base	Red de Cauces Naturales (1:50.000)	SIG DGA
	Red Regional de Caminos (1:50.000)	e-SIIR CNR
	Toponimios (localidades, centros poblados, orografía) (1:50.000)	e-SIIR CNR
	Curvas de Nivel IGM (1:50.000)	e-SIIR CNR
	Curvas de Nivel Estudio Integral 1982 (1:5.000)	e-SIIR CNR
Hidrología	Red Estaciones fluviométricas	Elaboración propia a partir de DGA
	Red Estaciones meteorológicas	Elaboración propia a partir de DGA
	Red Estaciones Meteorológicas Dirección Meteorológica de Chile (DMC)	Elaboración propia a partir de DMC
	Isoyetas Anuales (1:1.000.000)	Balance Hídrico de Chile, DGA (1987)
	Isolíneas ETP anual (1:1.000.000)	CNR
	Mapa de Cuencas Hidrográficas (1:50.000)	E-SIIR/DGA

CUADRO 2.2
ANTECEDENTES CARTOGRÁFICOS

TEMÁTICA	COBERTURA	INSTITUCIÓN Y/O FUENTE
Vegetación y Biodiversidad	Sitios prioritarios biodiversidad CONAMA (1:250.000)	SINIA-CONAMA
	SNASPE CONAF (1:250.000)	SINIA-CONAMA
	Uso del suelo CONAF-CONAMA (1:250.000)	e-SIIR /CONAMA
	Formaciones Vegetacionales (1:1.000.000)	Rodolfo Gajardo
	Pisos Vegetacionales (1:1.000.000)	Pliscoff y Lubert / SINIA-CONAMA
Riego y Agroeconomía	Distritos Agroclimáticos (Atlas U. Chile) (1:1.000.000)	e-SIIR CNR, Universidad de Chile
	Red de Canales Estudio Integral 1982 (1:5.000)	e-SIIR CNR
	Red de Canales (1:50.000)	e-SIIR CNR
	Red de Bocatomas (1:50.000)	e-SIIR CNR
	Catastro Singularidades Canales DGA	e-SIIR CNR
	Mapa de Suelos (1:20.000)	CIREN
	Mapa de propiedades rurales (1:10.000)	CIREN-SII
Información Satelital	Imagen Landsat 7 (resolución 30 m)	Servidor USGS
	Imagen Kompsat (resolución 1m)	Orion Data
	Modelo Digital de Elevación - SRTM (90 m)	Servidor USGS
	Modelo Digital de Elevación Aster GDEM (30 m)	Servidor ERSDAC

Fuente: Elaboración propia

2.3. ANTECEDENTES AGROECONÓMICOS

2.3.1. Antecedentes Agroclimáticos

Los antecedentes agroclimáticos consultados provienen de 3 fuentes de información:

- Atlas Agroclimático de Chile (INIA 1989)
- Atlas Agroclimático de Chile (CIREN-CORFO, 1990)
- Atlas Agroclimático de Chile: Regiones Metropolitana y Quinta (Universidad de Chile 1993).

Se optó por usar la información proveniente del Atlas Agroclimático de la Universidad de Chile, por ser más actual y poseer una descripción de las variables en una escala más acorde a los objetivos del estudio. La información disponible en dicha fuente se resume en los promedios mensuales de las siguientes variables: temperaturas máximas, temperaturas mínimas, temperaturas medias, días grado, horas de frío, radiación solar, humedad relativa, precipitación, evapotranspiración potencial, déficit hídrico, excedente

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

hídrico, índice de humedad y heladas. El estudio agroclimático en profundidad se muestra en el Estudio Agroeconómico de la presente consultoría.

2.3.2. Antecedentes Agrológicos

Los antecedentes agrológicos fueron obtenidos del Estudio Agrológico de la Región de Valparaíso (CIREN 1997) en el cual se describen 30 series de suelos para el área de estudio (Valle de Catemu). Para cada serie de suelo se han descrito las siguientes variables: profundidad del perfil, pedregosidad superficial, textura de suelo, pendientes, erosión, clase de drenaje, salinidad, alcalinidad, presencia de inundación, clase de capacidad de uso y aptitud frutal. El estudio de suelos en profundidad se muestra en el Estudio Agroeconómico de la presente consultoría.

2.3.3. Antecedentes Sobre la Propiedad Agrícola, Uso del Suelo y Otros Aspectos Agroeconómicos

A partir de los Censos Nacionales Agropecuarios realizados por INE en 1997 y 2007, se obtuvieron antecedentes suficientes para realizar una caracterización del área de estudio en lo que respecta a estos aspectos y un análisis temporal. Dichas fuentes e proporcionan la siguiente información: número de explotaciones agricolas y superficies, uso del suelo según rubro product vo y tipo de cultivo, producción agropecuaria, empleo agrícola, sistemas de riego y niveles tecnológicos. El análisis detallado se encuentra en el Capítulo 4 del presente informe y en el Estudio Agroeconómico de la presente consultoría.

2.4. ANTECEDENTES SOBRE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS Y ASPECTOS LEGALES

Para poder conocer el estado del arte actual de los derechos de agua y organizaciones de usuarios en los canales Catemu del Alto, Catemu del Bajo y Pepino, se dispuso de los siguientes antecedentes:

- Listado de usuarios del agua en la segunda sección del rio Aconcagua, incluyendo nombre de usuario, rol del S.I.I, superficie regada y nombre de canal (DGA, 1989).
- Listado de organizaciones de usuarios de aguas reconocidas en el catastro público de agua de laDGA (Centro de Información de Recursos Hídricos).
- Listado de regantes proporcionado por las Asociaciones del Canal Alto y Bajo y Canal Pepino. Dichos listados incluían nombre del regante, parcela, rol y en algunos casos número de acciones.
- Copias de inscripciones en el Conservador de Bienes raíces de la constitución de las organizaciones, e inscripciones de derechos individuales. En algunos

casos se especifica, nombre del regante, numero de acciones, equivalencia en caudal y superficie de riego al momento de la inscripción.

- Informe técnico SDT Nº 165 realizado por el departamento de administración de recursos hídricos el año 2004. Especifican acciones de cada canal y capacidades de porteo efectivas y máximas.
- Informe de Canales de Riego y Aforos de la cuenca de la segunda sección del río Aconcagua, realizado en el año 1998 y presentado a la Dirección General de Aguas para su inscripción en el año 2002. Detalle de acciones por canal y capacidad de porteo máxima reconocida por la Dirección General de Aguas.

2.5. ANTECEDENTES AMBIENTALES

2.5.1. Antecedentes Sobre Calidad de Aguas

Se contó con 2 fuentes de información principales: el estudio "Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Aconcagua" (DGA, CADE IDEPE, 2004) y el estudio "Desarrollo de una Metodología para la Evaluación y Mitigación de la Contaminación de Aguas y Suelo: Aplicación a la Cuenca del Río Aconcagua" (SAG-Universidad Mayor, 2005). Dichas fuentes de información cuentan con los siguientes antecedentes:

- Monitoreos de calidad de aguas superficiales (1980 a 2005) en los segmentos de río Aconcagua y Estero Catemu dentro el área de estudio, para los principales parámetros normados por el anteproyecto de la norma secundaria de calidad de aguas del río Aconcagua. El período de monitoreo 1980-2005 se completa considerando ambos estudios mencionados.
- Monitoreos de calidad de aguas subterráneas en pozos ubicados dentro del área de estudio (estudio SAG-U. Mayor, 2005).
- Mapa de vulnerabilidad de acuíferos del área de estudio (estudio SAG-U. Mayor, 2005)
- Ubicación de fuentes emisoras a cursos de agua. (estudio SAG-U. Mayor, 2005 e información SISS).

2.5.2. Antecedentes Sobre Biodiversidad

Para la descripción de la vegetación, flora, fauna y sitios protegidos, se contó con los siguientes antecedentes.

- Mapas y descripción de Uso de Suelo del Catastro y Evaluación de las Formaciones Vegetacionales Nativos de Chile.
- Mapas y Descripciónes de Pisos Vegetacionales de Pliscoff y Luebert.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Mapas y Descripciónes de Formaciones Vegetacionales de Gajardo.
- Listado faunístico realizado en el marco de la DIA del Plan Regulador Comunal de Catemu.
- Mapas de los sitios del SNSPE.
- Mapa e informe de la Estrategia Regional de Biodiversidad de la Región de Valparaíso (sitios prioritarios de biodiversidad).

2.6. ANTECEDENTES HIDROLÓGICOS

Los antecedentes que se recopilaron corresponden a los proporcionados por la Dirección General de Aguas en su base de datos del BNA. Se revisaron las estaciones pluviométricas y fluviométricas más cercanas al Sector de Catemu que permitieran actualizar la información de caudales disponibles en las bocatomas del sector de los canales Catemu del Alto, y Catemu del Bajo y el Pepino.

Para determinar la disponibilidad del recurso hídrico en el sector de bocatoma del Alto, Bajo y Pepino se realizó una recopilación de distintos modelos de simulación, en los que se ubica el nodo más cercano y se considera como representativo. La información más actualizada al a fecha queda determinada por los caudales afluentes al Nodo 12 del Modelo Operacional del Aconcagua en su versiones más recientes. También se considera la información de referencia, proporcionada por el Modelo MOSAH, Nodo 14, como un valor comparativo. Se realizó una recopilación de la información disponible de los caudales generados por estos modelos en las siguientes versiones:

- "Modificación Modelos DGA VISUAL MODFLOW – MOS Y MOS-PS Para Determinación Disponibilidad Real De Aguas Subterráneas En Valle Del Aconcagua". DICTUC Universidad Católica, 2008. Dirección de Obras Hidráulicas V Región.
- "Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona Desembocadura del Río Aconcagua" AC Ingenieros Ltda. 1997. Dirección General de Aguas.
- "Regadío del Valle de Catemu. Proyecto Túnel Salesianos". L. Stowhas y G. Gallegulllos. 1987. VII Congreso Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.

Los valores de Caudales Máximos en el sector de Bocatoma se estiman con la información proporcionada por la Estación Río Aconcagua en San Felipe. Los Caudales Máximos en los cruces de quebrada del Canal Alto Catemu se estiman mediante el uso de relaciones precipitación escorrentía y la información de Precipitaciones Máximas proporcionada por las estaciones pluviométricas. También se recopiló la informaciór de disponible en la zona del estudio "Precipitaciones Máximas en 24, 48 y 72 hrs" DGA, 1989.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

A continuación se muestra un desglose de la información hidrológica recopilada, tanto de antecedentes pluviométricos y fluviométricos, como de los modelos recopilados.

2.6.1. Antecedentes Pluviométricos

Se recopilaron 8 estaciones pluviométricas con información de precipitaciones máximas en la zona de estudio. En el Cuadro 2.6.1-1 aparece el código BNA, la extensión de las estadísticas y la vigencia de cada estación.

CUADRO 2.6.1-1
CÓDIGO BNA Y EXTENSIÓN DE REGISTRO ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

Estación Pluviométrica	Código BNA	Extensión Estadística años	Vigente
Mina Cerro Negro	05211003-3	1979 - 2010	V
Las Pataguas	05220007-5	1979 - 2010	V
San Felipe	05410008-6	1962 - 2010	V
El Tartaro	05414005-3	1990 - 2010	V
Jahuel	05415004-0	1989 - 2010	V
Catemu	05421005-1	1954 - 2010	V
Rio Aconc. en Romeral	05423003-6	2002 - 2010	V
El Cobre	05424005-8	1990 - 2010	V

Leyenda: V: Vigente N-V: No Vigente
Fuente: Elaboración propia a partir de información DGA

En el Cuadro 2.6.1-2 se muestra la ubicación geográfica de las estaciones pluviométricas y su altura asociada. En la Figura 2.6.1-1 aparecen las estaciones y una envolvente de la zona de estudio.

CUADRO 2.6.1-2
ALTURA Y UBICACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

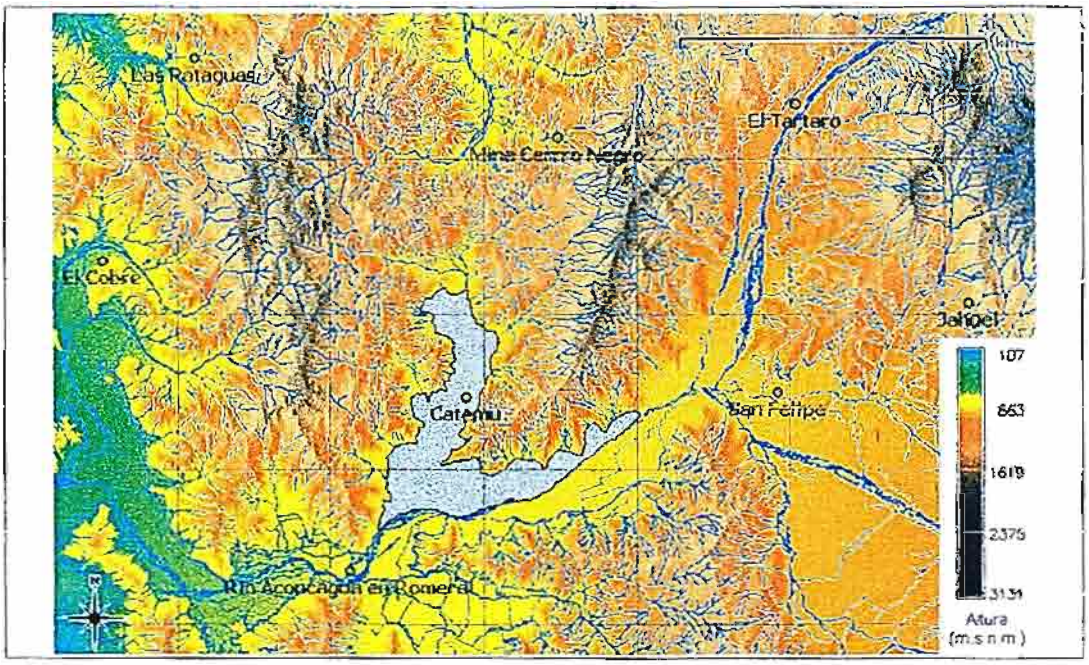
Nombre Estación	Altura (msnm)	Latitud Sur	Longitud Oeste	E (UTM)	N (UTM)
Mina Cerro Negro	650	32° 35'	70° 52'	6392967	324533
Las Pataguas	350	32° 32'	71° 07'	6398391	300007
San Felipe	640	32°44'	70°43'	6375364	338408
El Tartaro	950	32° 34'	70° 42'	6395390	340404
Jahuel	1020	32° 41'	70° 35'	6382600	349988
Catemu	440	32° 44'	70° 56'	6376442	318756
Rio Aconc. en Romeral	365	32° 50'	71° 01'	6364546	310416
El Cobre	280	32° 39'	71° 11'	6384988	293993

Nota: Coordenadas en UTM 19 Sur, Datum WGS84
Fuente: DGA

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniena.cl

En la Figura 2.6.1-1 se observa que las estaciones que las estaciones cubren toda la zona de estudio para estimar valores de precipitación actualizados y representativos de la zona de estudio. La extensión de todas las estaciones permite considerarlas como adecuadas para realizar los estudios de ajuste de frecuencia y los valores estimados de precipitación máxima asociado a periodos de retorno 5, 10, 20 y 50 años.

FIGURA 2.6.1-1
UBICACIÓN ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN SECTOR DE ESTUDIO



Nota: Coordenadas en UTM 19 Sur, Datum WGS84
Fuente: Elaboración propia

2.6.2. Antecedentes Fluviométricos

Se recopilaron 6 estaciones fluviométricas con registros de caudales en la zona. Se recopilaron los caudales medios mensuales y los caudales máximos instantáneos. La recopilación de caudales medios mensuales permitió generar una estadística actualizada y rellenada de la Estación Rio Aconcagua en San Felipe, correspondiente a la estación más cercana al sector de Bocatoma de Catemu. De esta forma la información generada de caudales medios por el Modelo MOS del Aconcagua puede ser extendida hasta el periodo más reciente, año hidrológico 2010-2011.

En el Cuadro 2.6.2-1 se presenta el código BNA, la extensión de las estadísticas y la vigencia de las estaciones fluviométricas. Se recopilo información de caudales medios mensuales y de caudales máximos.

En el Cuadro 2.6.2-2 se presenta la cota y la ubicación, en coordenadas geográficas y UTM, para las estaciones recopiladas. En la Figura 2.6.2-1 se muestra la ubicación general de las estaciones fluviométricas y la envolvente del área de estudio, en el sector de Catemu.

CUADRO 2.6.2-1
CÓDIGO BNA Y EXTENSIÓN DE REGISTRO ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

Nombre Estación	Código BNA	Extensión Estadística años	Vigencia
Rio Aconcagua en San Felipe	05410005-1	1918 - 2009	V
Estero Quilpué antes junta Rio Aconcagua	05415001-6	1962 - 1972	N-V
Rio Aconcagua en Panquehue	05420004-8	1946 - 1951	N-V
Estero Catemu antes junta Rio Aconcagua	05421001-9	1962 - 1984	N-V
Estero Catemu en Puente Santa Rosa	05421002-7	1985 - 2010	V
Rio Aconcagua en Chagres	05421003-5	1920 - 1930	N-V
Rio Aconcagua en Chacabuquito	05410002-7	1950 - 2010	V

Leyenda: V: Vigente N-V: No Vigente
Fuente: Elaboración propia a partir de DGA

CUADRO 2.6.2-2
ALTURA Y UBICACIÓN DE ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

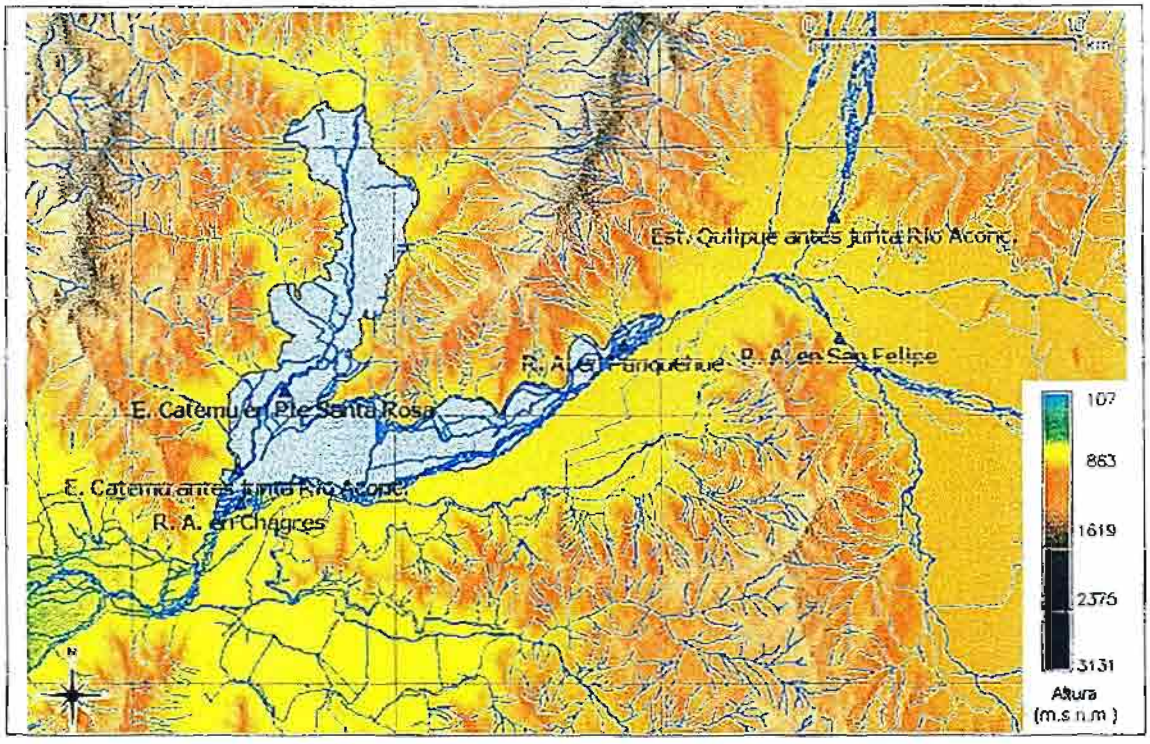
Nombre Estación	Altura (msnm)	Latitud Sur	Longitud Oeste	E (UTM)	N (UTM)
Rio Aconcagua en San Felipe	650	32° 45'	70° 44'	6374237	337307
Estero Quilpué antes junta Rio Aconcagua	530	32° 43'	70° 44'	6377333	336320
Rio Aconcagua en Panquehue	510	32° 45'	70° 50'	6374885	328236
Estero Catemu antes junta rio Aconcagua	389	32° 49'	71° 00'	6367211	312760
Estero Catemu en puente santa rosa	410	32° 46'	70° 58'	6371655	314810
Rio Aconcagua en Chagres	395	32° 48'	70° 59'	6369088	314286

Nota: Coordenadas en UTM 19 Sur, Datum WGS84
Fuente: DGA

En el Cuadro 2.6.2-1 se observa que las estaciones Río Aconcagua en Chagres, Río Aconcagua en Panquehue poseen poca información y está desactualizada, por lo que no se consideran validas para el siguiente estudio. A pesar que estas estaciones corresponden a las más cercanas al área de estudio no son consideraras como representativas. De esta forma la Estación de Río Aconcagua en San Felipe corresponde a la más representativa y útil para este estudio, en cuanto a extensión de información y ubicación geográfica.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail. oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.6.2-1
UBICACIÓN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS EN SECTOR DE ESTUDIO



Nota: Coordenadas en UTM 19 Sur, Datum WGS84
Fuente: Elaboración propia

2.6.3. Modelo MOS Aconcagua

El modelo MOS del Aconcagua, desarrollado por AC Ingenieros para la DOH, ha sido adoptado por la DGA y su versión más reciente corresponde a la actualización de la DOH V región realizada por DICTUC 2008.

La actualización del modelo por parte de la DOH V Región parte de la necesidad de contar con una herramienta de apoyo corregida y actualizada en función de nuevos antecedentes y el desarrollo tecnológico, para la toma de decisiones y gestión de los recursos hídricos de la cuenca del Aconcagua (DICTUC, 2008).

Los excedentes de riego de la Primera Sección están formados por los derrames de riego no utilizados, el agua que escurre de la lluvia y el exceso de agua bombeada. El sector de Bocatoma de Catemu queda representado por el Nodo 12, que no corresponde a ningún punto de calibración, sino a la operación del modelo en la que se consideran aportes afluentes al nodo y caudal medio de percolación en el nodo. En este modelo los excedentes de los sectores de riego de la primera sección se dirigen a nodos, luego de considerar el reuso interno de los derrames. Los estudios anteriores al DICTUC disponen de series de datos

desde 1950 hasta 1998, como lo es el de Cabrera 1997. En la revisión más reciente del modelo MOS la información se completa hasta el año 2006.

En el Modelo MOSAH el sector de Catemu queda representado por el Nodo 14, como la información de este modelo corresponde a estimaciones no actualizada se considera solo como referente. En el Estudio de Prefactibilidad. Consultoría OME – 57, Mejoramiento Canales Catemu, V Región, PROCIVIL Ingeniería Ltda., 1996, se consideró la información de este Nodo como representativa del sector de bocatoma, estimando un caudal de recuperación de 7,7 m^3/s, entre el sector de San Felipe y el sector de Bocatoma del Canal El Alto.

El caudal en el sector de Bocatoma Catemu con respecto a la Estación San Felipe, Nodo 07 del Modelo MOS, presenta recuperaciones no menores, por lo que esta variable se considera como una información relevante para el análisis y comparación de los modelos recopilados en el presente estudio.

2.7. ANTECEDENTES TOPOGRÁFICOS

Se recopiló información de los antecedentes topográficos existentes de proyectos anteriores en la zona de estudio, identificando la mayor cantidad de puntos de referencia y puntos topográficos ejecutados de modo que se ajusten a lo requerido en el presente proyecto y optimicen los recursos destinados para esta actividad.

Los estudios a partir de los cuales se hizo una recopilación de antecedentes se detallan a continuación.

2.7.1. Estudio Mejoramiento Canales Catemu; V Región. Electrowatt, 2000

En el proceso de recopilación de información topográfica se encontró el capítulo N°4 de topografía, donde se hace mención a los trabajos topográficos necesarios para desarrollar todas las obras, ya sea, los replanteos de las obras del proyecto, y la materialización de puntos de referencia, tanto auxiliares como también de control de ejecución. También se menciona las responsabilidades del contratista con la inspección fiscal y sus multas por no cumplimiento de los plazos adquiridos.

Dentro de este capítulo se entregan tres listados de coordenadas de PR's, uno correspondiente a la red de apoyo principal del túnel Salesianos, otro listado con los PR's ubicados en los portales de entrada y salida del mismo túnel y por último un listado de coordenadas planimetrías y altimétricas del túnel denominado "túnel chico".

Además de la información ya mencionada en el punto anterior, también se encontró información de una serie de PR's con sus respectivas monografías, en las cuales no se entrega información de coordenadas, solamente información relacionada con la cota

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

del PR, por lo que se deduce que estos PR's fueron construidos para un traslado de cota de una nivelación geométrica.

En el Anexo VII-5 del Tomo V, se encontró un listado de puntos que tienen relación con un perfil longitudinal del canal Alto Catemu, en el cual aparece información de cotas de fondo actual de canal, fondo proyectado, bordes y distancias acumuladas y parciales cada 50 m. No se hace mención del origen de esta información en el sentido si fue obtenida de una restitución aerofotogramétrica o de un levantamiento topográfico taquimétrico, lo que conllevaría a realizar una comprobación en terreno de su validez.

2.7.2. Proyecto Embalse de Regulación para el Río Aconcagua. EDIC, 2001

En la recopilación de información topográfica de este proyecto se encontraron tres anexos dentro del volumen 3, estos se describen a continuación:

- El Anexo 2.1.1 tiene relación con cuadros generales de coordenadas y cotas, un listado que de coordenadas de PR'S del canal alimentador tramo n°2 desde la salida del túnel al entonces proyectado embalse Catemu, un listado de PR's de los hitos de entrada y salida del túnel y un listado de puntos de control que sirven de apoyo a la fotogrametría.

- El Anexo 2.1.2 corresponde a una serie de monografías de PR's de los cuadros generales de coordenadas y cotas del anexo antes descrito, mas la de los PR's del listado del canal alimentador y también la de los Puntos de Nivelación, uno ubicado en San Felipe y el otro ubicado dentro de la compañía Chile tabacos ubicada cerca del cruce de la ruta internacional de Los Andes y la ruta hacia Catemu.

- En el Anexo 3.1.6 se encontró información relacionada con el traslado de cota hacia la entrada y salida del túnel, dentro del cual existe un cuadro de desniveles y cotas de la salida del túnel y otro cuadro igual al anterior de la entrada del túnel, además están las monografías de los PR's construidos para este traslado de cota.

2.8. ANTECEDENTES SOBRE MECÁNICA DE SUELOS

2.8.1. Estudio Procivil (1996)

El estudio de mecánica de suelos tuvo el propósito de dar recomendaciones de diseño y de construcción relativas a las fundaciones de las estructuras proyectadas.

El estudio comenzó con el análisis de antecedentes geológicos y de mecánica de suelos disponibles, además de la excavación de 10 pozos de exploración de profundidades comprendidas entre los 0,5 m y 3,00 m.

De los pozos de exploración se obtuvo la estratigrafía y muestras de suelo para ser ensayadas en laboratorio. Dicho informe puede ser utilizado para el diseño de las fundaciones de las estructuras proyectadas.

Como resultado del trabajo realizado, se desarrollaron los modelos estratigráfico y de propiedades mecánicas del suelo de fundación, que se utilizaron en los cálculos para determinar la capacidad de soporte de fundaciones, asentamientos, constantes de balasto, empujes sobre muros y recomendaciones para construcción de fundaciones y radieres.

2.8.2. Estudio Electrowatt (2000)

En este estudio se excavaron 35 calicatas con el fin de determinar las características geotécnicas de aquellos sitios donde se emplazarían las obras.

De los pozos se realizaron estratigrafías detalladas, se extrajeron muestras representativas para ensayos de laboratorio y se efectuaron mediciones en terreno, de acuerdo a las características de cada obra y del sub suelo en cada lugar particular.

2.9. ANÁLISIS TOPOGRAFÍA EXISTENTE

2.9.1. Resumen de Antecedentes Topográficos Preliminares

Una vez recopilados los antecedentes topográficos de los estudios mencionados anteriormente, se procedió en primer lugar a generar un resumen de coordenadas de todos los PR's encontrados, y con esto generar un plano de PR's sobre la base de Google Earth, para así, acompañado de un GPS, verificar la existencia de dichos PR's en terreno, los cuales servirán solamente en cota, ya que, las coordenadas se encuentran en datum PSAD 56, el cual, es distinto al datum que se usara en la presente consultoría, esta información del listado de PR's y los planos obtenidos de Google Earth se presentan en el Cuadro 2.9.1-1 y Figuras 2.9.1-1 y 2.9.1-2.

CUADRO 2.9.1-1
RESUMEN DE PR'S ANTECEDENTES PRELIMINARES

TO	NORTE	ESTE	COTA	CODIGO
1	6.384.582,940	317.942,120	669,640	SACO
2	6.384.555,989	318.040,506	505,614	PRESA
3	6.377.134,400	332.857,962	572,697	BOCA
4	6.368.726,685	317.086,451	415,112	AEROTOP
5	6.381.318,392	322.327,280	581,446	CA-1
6	6.381.766,494	322.225,720	577,948	CA-2
7	6.381.738,514	321.752,657	584,541	CA-3
8	6.381.679,724	321.396,294	590,784	CA-4
9	6.381.525,283	321.006,070	586,375	CA-5
10	6.381.625,357	320.634,565	588,619	CA-6

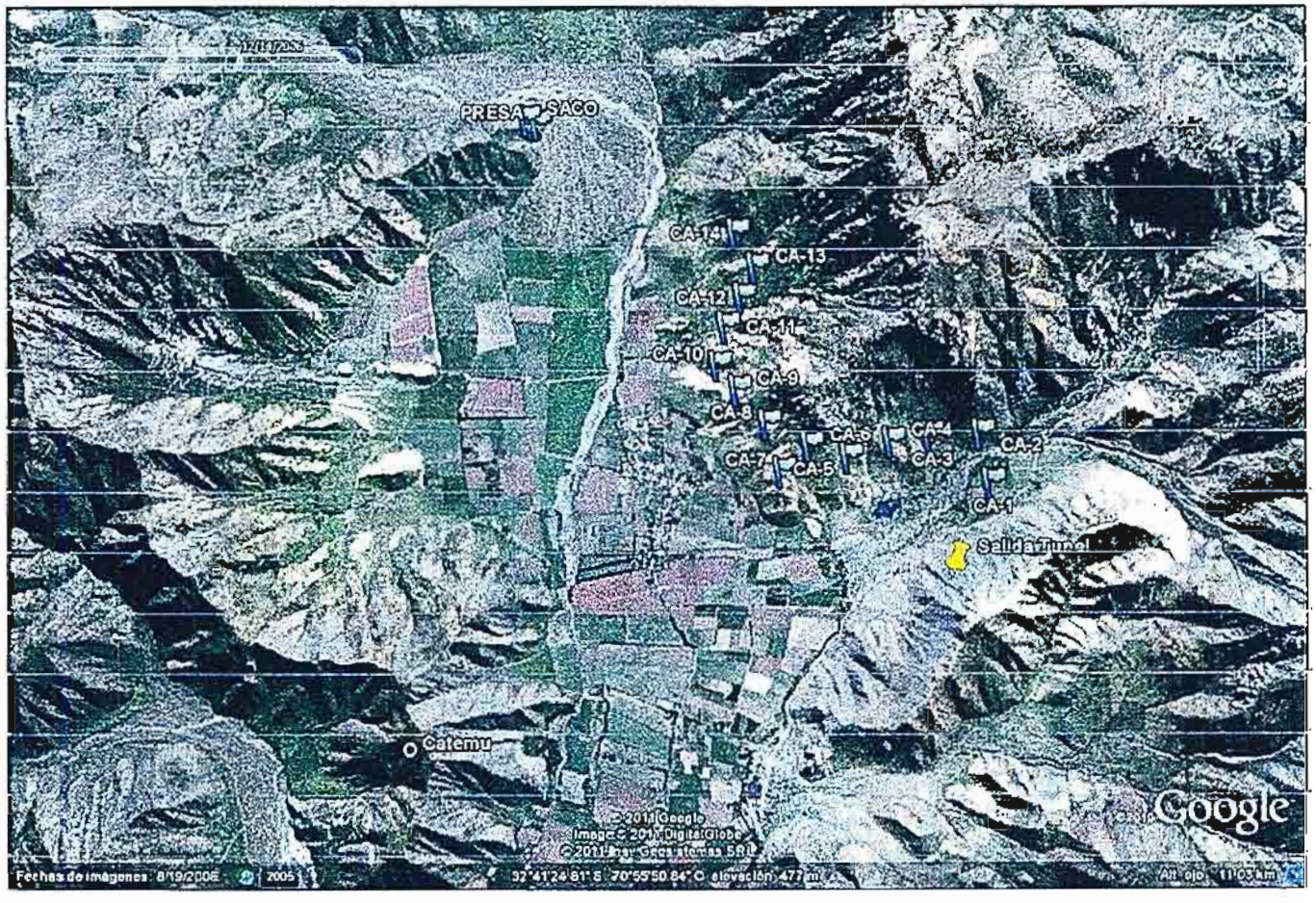
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.9.1-1
RESUMEN DE PR'S ANTECEDENTES PRELIMINARES

TO	NORTE	ESTE	COTA	CODIGO
11	6.381.387,976	320.385,013	588,289	CA-7
12	6.381.823,260	320.237,577	589,289	CA-8
13	6.382.131,332	319.956,131	597,983	CA-9
14	6.382.353,278	319.774,288	588,003	CA-10
15	6.382.711,121	319.844,680	590,590	CA-11
16	6.382.982,122	319.989,830	595,126	CA-12
17	6.383.260,478	320.109,063	583,431	CA-13
18	6.383.568,611	319.918,464	587,214	CA-14
19	6.375.346,708	326.920,073	599,397	ET(entrada túnel)
20	6.380.921,601	322.021,352	586,936	ST(salida túnel)
21	6.372.040,420	318.940,100	432,400	TC-1
22	6.371.653,120	319.611,080	496,600	TC-2
23	6.373.578,680	319.108,510	796,040	TC-3
24	6.373.346,350	318.728,820	734,740	TC-4
25	6.374.203,090	318.529,920	468,550	TC-5
26	6.374.382,840	318.777,340	551,600	TC-6
27	6.372.958,000	319.278,090	557,130	V-1
28	6.373.355,190	318.746,670	728,240	AUX-1
29	6.373.035,320	319.391,150	564,960	PR1
30	6.373.504,990	318.996,170	730,110	PR2
31	6.373.884,060	318.800,080	538,560	PR3
32	6.372.172,930	324.285,690	514,790	PR12
33	6.372.124,940	324.135,990	514,000	PR13
34	6.372.162,160	324.286,330	514,870	PR12A
35	6.372.126,090	324.133,110	513,900	PR13A
36	6.372.905,000	319.398,566	sin cota	PC
37	6.372.958,000	319.278,090	sin cota	VERT-V1
38	6.373.972,350	318.755,240	sin cota	VERT-V2
39	6.373.928,697	318.548,322	sin cota	PR37
40	6.374.082,235	318.548,322	sin cota	PR38
41	6.373.846,706	318.689,111	sin cota	CRUZ
42	6.375.984,555	329.501,928	508,198	STA-1
43	6.375.338,069	329.581,086	518,887	STA-2
44	6.372.969,266	322.347,466	511,515	A-5
45	6.372.409,044	321.648,229	513,841	REINA-1
46	6.371.803,208	322.089,039	478,936	REINA-2
47	6.374.491,279	318.412,480	501,532	CURA-1
48	6.374.574,048	317.927,552	425,169	PUENTE
49	6.372.967,360	322.349,300	511,370	PR1
50	6.372.473,220	322.431,600	492,380	PR2
51	6.371.983,140	322.530,980	479,020	PR3
52	6.371.493,050	322.637,750	468,760	PR4
53	6.371.116,960	322.531,490	465,110	PR5
54	6.370.945,000	322.061,230	460,920	PR6

Fuente: Elaboración propia a partir de otros estudios

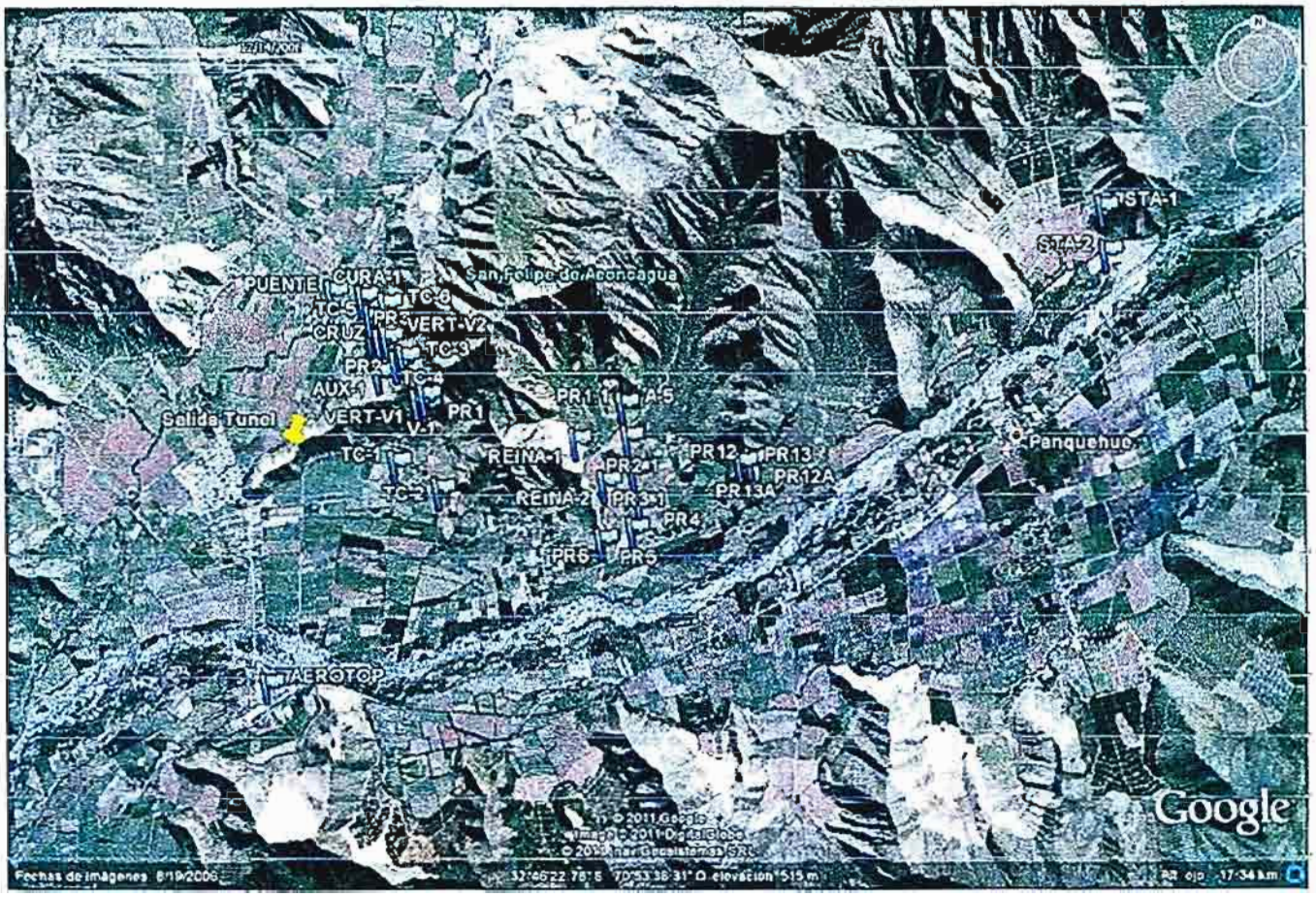
FIGURA 2.9.1-1
UBICACIÓN DE RESUMEN DE PR'S DE ANTECEDENTES PRELIMINARES SOBRE BASE DE GOOGLE EARTH (1/2)



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.9.1-2
UBICACIÓN DE RESUMEN DE PR'S DE ANTECEDENTES PRELIMINARES SOBRE BASE DE GOOGLE EARTH (2/2)



Fuente: Elaboración propia

2.9.2. Reconocimiento en Terreno de Antecedentes Preliminares

Con la información resumen elaborada en gabinete, se procedió a viajar a la zona de estudio ubicada en la comuna de Catemu, donde la primera labor fue identificar la existencia del Punto de Nivelación (PN), ubicado en un mástil de bandera en la entrada principal de la compañía Chile Tabacos cuya fotografía y monografía se presentan en las Figuras 2.9.2-1 y 2.9.2-2, respectivamente. Posteriormente el reconocimiento se enfocó en la búsqueda de los PR's del resumen previamente elaborado, de coordenadas distribuidas por la zona de los canales de Catemu. En esta labor no se tuvo éxito, ya que, después de una intensa búsqueda no se encontró ningún monolito del listado. Es por esto que, antes de empezar los trabajos de topografía se realizó un reconocimiento del terreno a levantar de modo de distribuir estratégicamente los nuevos monolitos, con el fin de lograr intervisibilidad y visión panorámica entre vértices de la poligonal, para así lograr que con estos se cubra la

faja en estudio. Una vez hecho este análisis en terreno, se materializó la red de vértices, los que cumplen constructivamente con las especificaciones técnicas topográficas de la DOH.

Con los vértices materializados se confeccionaron dos poligonales independientes, con el fin de obtener las tolerancias admisibles para este tipo de trabajos, la medición de la poligonal primaria, al igual que la secundaria fue a través de receptores GPS doble frecuencia, grabando en intervalos de 5 s, en periodos aproximados de una a una y media horas cada vector, dependiendo de su largo y niveles de obstrucción, obteniéndose coordenadas UTM transformadas posteriormente a Planas Topográficas. La poligonal primaria se formó instalando los equipos en el punto SIRGAS del IGM denominado Quebrada del Pobre (QPOB) ubicado en la localidad de la Ligua y en los PR's ACA 1, ACA 12 y ACA 23. De esta misma forma, la poligonal secundaria se desarrolló pasando por todos los PR's de la poligonal, esto es del ACA 1 hasta el ACA 23.

Para obtener cota se realizó una nivelación geométrica de los PR's con el método de nivelación simple con cierre, esta nivelación se realizó avanzando desde un PR con cota geométrica definida y luego retornando al PR inicial. Para realizar estas nivelaciones se utilizó un nivel digital marca Trimble modelo DINI.

La altimetría del presente estudio fue vinculada al Pilar de Nivelación E7 124 de la red IGM, ubicado en la entrada de la compañía Chile Tabacos, la cual se encuentra cercana a la fundición Chagres en la comuna de Catemu, y así nivelar geométricamente los 23 PR's de la poligonal.

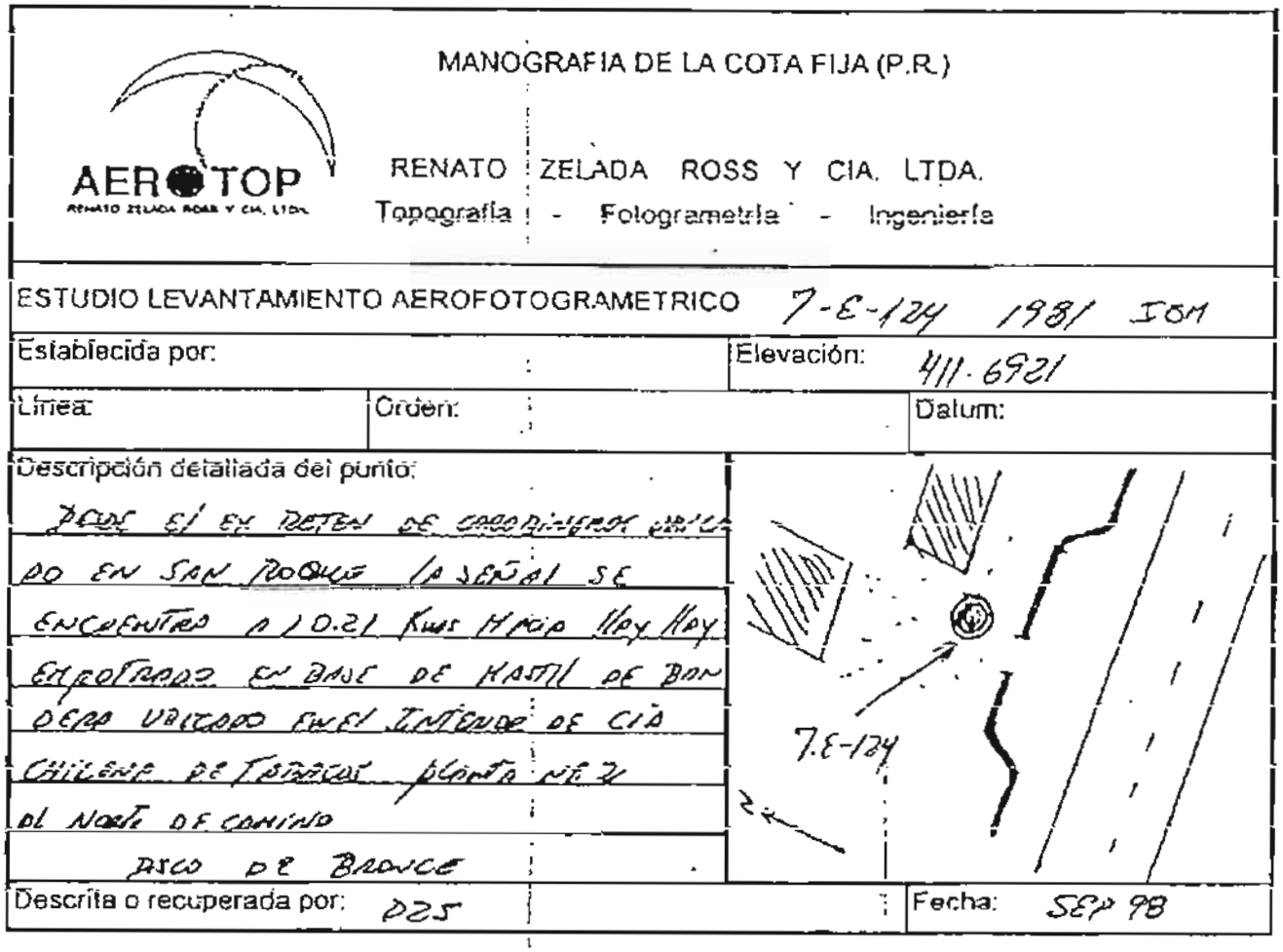
Si la nivelación cerrada cumple con la tolerancia se ejecuta la compensación del error, el cual se distribuye por partes iguales si las distancias son constantes o una distribución proporcional a la distancia existente entre cada punto.

Por último la búsqueda en terreno se concentró en conocer las bocatomas de los canales involucrados en el proyecto, y un reconocimiento visual de la zona cubierta por estos canales.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.9.2-1
PLACA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

FIGURA 2.9.2-2
MONOGRAFÍA DE PUNTO DE NIVELACIÓN



AEROTOP
RENATO ZELADA ROSS Y CIA. LTDA.

MANOGRAFIA DE LA COTA FIJA (P.R.)

RENATO ZELADA ROSS Y CIA. LTDA.
Topografía - Fotogrametría - Ingeniería

ESTUDIO LEVANTAMIENTO AEROFOTOGRAMETRICO 7-E-124 1981 IGM

Establecida por:
Elevación: 411.6921
Línea:
Orden:
Datum:

Descripción detallada del punto:
DESDE EL EX RETEN DE CARABINEROS UBICADO EN SAN ROQUE LA SEÑAL SE ENCUENTRA A 10.21 KMS HACIA HAY HAY EMPOTRADO EN BASE DE MASTIL DE BANDERA UBICADO EN EL INTERIOR DE CIA CHILENA DE TABACOS PLANTA NE 2 AL NORTE DE CAMINO
DISCO DE BRONCE

Descrita o recuperada por: DZS
Fecha: SEP 98

Fuente: AEROTOP

2.10. ANÁLISIS ANTECEDENTES MECÁNICA DE SUELOS DISPONIBLES

2.10.1. Análisis Estudio Procivil 1996

2.10.1.1. Propiedades del Suelo de Fundación

El trazado del canal cruza en general por zonas de escombros de falda y conos de deyección que cubren parcialmente un intrusivo de tipo granítico. Se observan también sectores con abundante suelo residual (maicillo) proveniente de la descomposición in situ de la roca en diferentes grados. Se observan también zonas con material piroclástico del tamaño de arena fina a limo mezclados con los suelos típicos de la zona.

Se realizaron 10 pozos excavados manualmente en los costados del canal Catemu Alto, profundidad máxima de 3 m, los cuales permitieron obtener muestras de suelo, determinar la estratigrafía del suelo y realizar cuatro mediciones de permeabilidad in situ.

Los ensayes de laboratorio fueron 9 clasificaciones USCS completas, 2 compresiones no confinadas, 4 ensayes de permeabilidad y 3 ensayes triaxiales CIU. En el Cuadro 2.10.1.1-1 se muestran las características de los pozos.

CUADRO 2.10.1.1-1
POZOS EXCAVADOS

Pozo	Propiedades
Pozo Nº 1 (P-1)	
Ubicación:	Km 9,900 , Sector San José, bajo canal del Alto
Permeabilidad In situ	1 ensaye a 2,00 m de profundidad
Ensayes de Laboratorio:	1 clasificación completa del suelo a 1,90 m de profundidad 1 ensaye de permeabilidad
Pozo Nº 2 (P-2)	
Ubicación:	Km 9,900 , Sector San José, sobre canal del Alto
Permeabilidad In situ	No programado
Ensayes de Laboratorio:	1 clasificación completa del suelo a 1,50 m de profundidad 1 ensaye de compresión no confinada
Pozo Nº 3 (P-3)	
Ubicación:	Km 11,600 , Sector entrada a San José, bajo canal del Alto
Permeabilidad In situ	1 ensaye a 2.00 m de profundidad
Ensayes de Laboratorio:	1 clasificación completa del suelo a 2,00 m de profundidad
Pozo Nº 4 (P-4)	
Ubicación:	Km 11,600 , Sector entrada a San José, sobre canal del Alto
Permeabilidad In situ	No programada
Ensayes de Laboratorio:	1 clasificación completa del suelo a 1,30 m de profundidad
Pozo Nº 5 (P-5)	
Ubicación:	Km 12,300 , Sector Santa Margarita, sobre canal del Alto
Permeabilidad In situ	No programada
Ensayes de Laboratorio:	1 clasificación completa del suelo a 0,50 m de profundidad
Pozo Nº 6 (P-6)	
Ubicación:	Km 13,980 , Sector Santa Margarita, sobre canal del Alto (entrada túnel proyectada)
Permeabilidad In situ	No programada
Ensayes de Laboratorio:	No programados
Pozo Nº 7 (P-7)	
Ubicación:	Km 15,165 , Sector San Carlos, bajo canal del Alto
Permeabilidad In situ	1 ensaye a 2,20 m de profundidad
Ensayes de Laboratorio:	1 clasificación completa del suelo a 2,20 m de profundidad 1 ensaye de permeabilidad

CUADRO 2.10.1.1-1
POZOS EXCAVADOS

Pozo	Propiedades
Pozo Nº 8 (P-8)	
Ubicación:	Km 12,000 , Sector entrada El Pimiento, sobre el canal del Bajo
Permeabilidad In situ	No programada
Ensayes de Laboratorio:	1 clasificación completa del suelo a 2,30 m de profundidad 1 ensaye de compresión no confinada del suelo a 2,30 m de profundidad
Pozo Nº 9 (P-9)	
Ubicación:	Km 16,300 , Sector El Pimiento, bajo el canal del Alto.
Permeabilidad In situ	1 ensaye a 2,30 m de profundidad
Ensayes de Laboratorio:	1 clasificación completa del suelo a 2,10 m de profundidad 1 ensaye de permeabilidad
Pozo Nº 10 (P-10)	
Ubicación:	Km 17,750 , Sector las Varillas, sobre el canal del Alto.
Permeabilidad In situ	No programada
Ensayes de Laboratorio:	1 clasificación completa del suelo a 1,70 m de profundidad 3 ensayes triaxiales CIU

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Prefactiblidad. Consultoría OME-57, Mejoramiento Canales Catemu, V Región, PROCIVIL, 1996

En el sector de la bocatoma en el río Aconcagua no se excavaron pozos de exploraciones sin embargo de una visita realizada al lugar de emplazamiento se verificó que el suelo corresponde a una grava arenosa de compacidad mediana y de cantos redondeados, la napa se encuentra a unos 0,50 m de profundidad; se observaron también algunos lentes de arena media. Considerando el tipo y tamaño de las obras que se proyectarán en este lugar es suficiente realizar una modelación conservadora del suelo de fundación, la cual no aumentará los costos de las obras significativamente.

La permeabilidad de los suelos medida in situ y en el laboratorio presenta algunas diferencias en sus valores, pero en general se estima que estos resultados son concordantes considerando que la razón entre ambas mediciones (k in situ / k laboratorio) varía entre 0,4 y 1,76. Para fines prácticos la permeabilidad a nivel de fondo del canal puede adoptar los siguientes valores:

- $k = 10^{-4}$ cm/s para suelos finos (arcillas y limos arenosos)
- $k = 10^{-3}$ cm/s para suelos arenosos con finos

2.10.1.2. Estratigrafía

De acuerdo a la exploración realizada en el terreno estudiado, se distinguen principalmente los estratos de suelo mostrados en el Cuadro 2.10.1.2-1. Por otra parte, en el Cuadro 2.10.1.2-2 se muestran las propiedades mecánicas del suelo de fundación.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.10.1.2-1
MODELO ESTRATIGRÁFICO

SECTOR BOCATOMA		
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 - 10,00	Grava arenosa, de color gris, de compacidad mediana y que aumenta con la profundidad, partículas de cantos redondeados, algunos lentes de arena, saturada
SECTOR CANAL		
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 - 0,30	Capa de suelo vegetal.
H-2	0,3-3,00 +	Arena arcillosa y/o limosa, de color café claro, de compacidad mediana, humedad mediana, algunas gravas aisladas y clastos

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Prefactiblidad. Consultoría OME-57, Mejoramiento Canales Catemu, V Región, PROCIVIL, 1996.

CUADRO 2.10.1.2-2
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN

Propiedad	Estrato		
	Sector Bocatoma	Sector Canal	
	H-1	H-1	H-2
Material	Grava arenosa	-	Arena arcillosa
Ángulo de fricción interna: ϕ (°)	40°	-	30°
Cohesión: c (t/m^2)	0,0	-	2,30
Peso unitario natural: γ (t/m^3)	2,20	-	1,80
Peso unitario Boyante: γt (t/m^3)	1,20		0,90
Módulo de Young si z es la profundidad en metros: E (t/m^2)	$2.500\sqrt{z}$	-	$1500\sqrt{z}$
Módulo de Young para cargas cíclicas: E_d (t/m^2)	3E	-	3E
Razón de Poisson: μ	0,20	-	0,30

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Prefactiblidad. Consultoría OME-57, Mejoramiento Canales Catemu, V Región, PROCIVIL, 1996.

2.10.1.3. Modelación Para Análisis de Estabilidad de Taludes

Para la estabilidad de taludes se zonificó la ladera del cerro en dos diferentes sectores. El primer sector corresponde a los suelos areno arcillosos o arcillo arenosos que no corresponden a suelo residual (maicillo) sino que son sedimentos que han sido transportados por la acción del agua, del viento y de la gravedad; este sector se extiende entre la bocatoma y el Km 14 por una parte y desde el Km 18 en adelante, referido al canal Alto. El segundo sector corresponde a la puntilla Las Maquinas entre el Km 14 y 18 aproximadamente donde existen principalmente en la ladera del cerro suelo residual (maicillo).

Para el primer sector modelado para análisis de estabilidad de taludes, los parámetros de resistencia al corte se estimaron considerando que el suelo tiene un ángulo de fricción algo mayor que el determinado en el ensaye y una cohesión levemente superior, tal como se muestra en el Cuadro 2.10.1.3-1.

CUADRO 2.10.1.3-1
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN PARA TALUDES SECTOR ENTRE BOCATOMAY Km 14; Y DESDE Km 18 EN ADELANTE

Propiedad	ESTRATO
Ángulo de fricción interna: ϕ (°)	35°
Cohesión: c (t/m^2)	2,50
Peso unitario natural: γ (t/m^3)	1,80

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Prefactiblidad Consultoría OME-57, Mejoramiento Canales Catemu, V Región, PROCIVIL, 1996

Para estimar las propiedades mecánicas del suelo del segundo sector se utilizaron ensayes triaxiales realizados con motivo del estudio de varias presas de la V región posteriores al sismo del 3 de Marzo de 1985. En el Cuadro 2.10.1.3-2 se resume la información disponible relativa al ángulo de fricción y cohesión determinada.

CUADRO 2.10.1.3-2
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN PARA TALUDES SECTOR PUNTILLA LAS MáQUINAS ENTRE KM 14 AL 18 DEL CANAL ALTO CATEMU (ZONA DE MAICILLO)

Propiedad	ESTRATO
Ángulo de fricción interna: ϕ (°)	36°
Cohesión: c (t/m^2)	1,00
Peso unitario natural: γ (t/m^3)	1,80

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Prefactiblidad. Consultoría OME-57, Mejoramiento Canales Catemu, V Región, PROCIVIL, 1996

2.10.2. Análisis Estudio Electrowatt 2000

2.10.2.1. Introducción

En este estudio se excavaron 35 calicatas con el fin de determinar las características geotécnicas de aquellos sitios donde se emplazarían las obras.

De los pozos se realizaron estratigrafías detalladas, se extrajeron muestras representativas para ensayos de laboratorio y se efectuaron mediciones en terreno, de

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

acuerdo a las características de cada obra y del sub suelo en cada lugar particular. Los resultados se presentan en el Cuadro 2.10.2.1-1.

CUADRO 2.10.2.1-1
POZOS EXCAVADOS

Descripción	Km	Nº de calicatas	Ensayos
Diseño Bocatoma	0,00	2	DR
Diseño descarga Sta. Isabel	2,20	1	DR
Diseño descarga Vega	5,69	2	-1
Diseño descarga San José	8,04	5	DR
Diseño descarga Reinoso	8,90	3	DR y qu
Diseño entrega Sta. Margarita	12,80	1	qu
Diseño entrega El Pimiento	18,85	2	DR
Diseño descarga Las Varillas entrega de canal Alto al Bajo	19,20	5	DR y qu
Caracterización de permeabilidades	5,45	1	IN
	12,40	1	IN
	18,72	1	IN
Caracterización de taludes del canal	1,90	1	x3
	5,60	1	x3
	9,30	1	x3
	12,20	1	x3
Caracterización en zonas de puentes	0,55	1	DR
	1,29	1	qu
	3,15	1	qu
	3,65	1	DR
	7,26	1	-1
	8,05	1	qu
	13,30	1	DR

(1) Se realizó sólo clasificación dadas las condiciones del terreno.
Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu Electrowatt Ingeniería, 2000

2.10.2.2. Estratigrafía

a) Sector Bocatoma

De acuerdo a la exploración realizada en el terreno estudiado, se distinguen principalmente los estratos de suelo mostrados en el Cuadro 2.10.2.2-1. Las propiedades mecánicas del estrato H2 se muestran en el Cuadro 2.10.2.2-2.

CUADRO 2.10.2.2-1
MODELO ESTRATIGRÁFICO SECTOR BOCATOMA

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00-2,70	Relleno estratificado formado por suelos arenosos y gravas arenosas, derrame del cerro de características areno limosas
H-2	2,70-2,70 +	Arena de granos medios, color gris, humedad media, compacidad media a alta, estructura homogénea, presentando alguna cementación.
Nivel Freático	-	No se detectó en los pozos pero deberia estar determinado por el nivel del rio.

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

CUADRO 2.10.2.2-2
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO SECTOR BOCATOMA

Propiedad	ESTRATO
Peso unitario natural: γ (t/m^3)	2,1
Densidad relativa: (%)	>100
Ángulo de fricción interna: ϕ ($^\circ$)	38
Cohesión: c (t/m^2)	0,10
Clasificación:	SW-SM y SW
Tensiones admisibles cargas estáticas: q (kg/cm^2)	2,00
Tensiones admisibles cargas sísmicas: q (kg/cm^2)	3,00

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

De acuerdo al comportamiento observado de los cortes existentes, prácticamente verticales, se puede deducir que es posible mantener las inclinaciones existentes. Sin embargo en consideración a las características granulares del suelo se recomienda limitar el ángulo a 70º respecto de la horizontal.

b) Sector descarga Santa Isabel

Se ubica en el Km 2,20 del trazado. De acuerdo a la exploración realizada en el terreno estudiado, para el sector de la descarga Santa Isabel se tiene el modelo estratigráfico del Cuadro 2 10.2.2-3. Las propiedades mecánicas del estrato H2 se muestran en el Cuadro 2.10.2.2-4.

CUADRO 2.10.2.2-3
MODELO ESTRATIGRÁFICO SECTOR SANTA ISABEL

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00-0,70	Suelo erosionado y removido

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.10.2.2-3
MODELO ESTRATIGRÁFICO SECTOR SANTA ISABEL

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-2	0,70-0,70 +	Arena de granos medios, color gris claro, compacidad alta, estructura homogénea, presenta mica y clastos de cantos redondeados de 40" de tamaño máximo, en proceso de meteorización; presenta cementación.
Nivel Freático	-	No se detectó.

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

CUADRO 2.10.2.2-4
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO SECTOR SANTA ISABEL

Propiedad	ESTRATO
Peso unitario natural: γ (t/m^3)	2,20
Densidad relativa: (%)	>100
Ángulo de fricción interna: ϕ (°)	42
Cohesión: c (t/m^2)	0,15
Clasificación:	SW-SM
Tensiones admisibles cargas estáticas: q (kg/cm^2)	3,00
Tensiones admisibles cargas sísmicas: q (kg/cm^2)	4,00

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

c) Sector descarga Vega

Se ubica en el Km 5,69 del trazado, a la salida del túnel. De acuerdo a la exploración realizada en el terreno estudiado, el modelo estratigráfico se muestra en el Cuadro 2.10.2.2-5.

CUADRO 2.10.2.2-5
MODELO ESTRATIGRÁFICO SECTOR VEGA

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00-0,80	Material superficial de derrame de cerro. Arcilla limosa, color negro, presenta bolones y clastos de hasta 18" de tamaño medio.
H-2	0,80-0,80 +	Material de pie de monte formado por trozos de roca, bolones y bloques en una matriz fina arcillosa, color café
Nivel Freático	-	No se detectó.

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

Debido a las propiedades del suelo no fue posible efectuar mediciones para caracterizarlo mecánicamente. Ellas se asumirán considerando que predomina el comportamiento de la matriz fina, en el horizonte H2, tal como se muestra en el Cuadro 2.10.2.2-6.

CUADRO 2.10.2.2-6
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO SECTOR VEGA

Propiedad	ESTRATO
Peso unitario natural: γ (t/m^3)	1,80
Resistencia a compresión simple (kg/m²):	1,5
Tensiones admisibles cargas estáticas: q (kg/cm²)	1,50
Tensiones admisibles cargas sísmicas: q (kg/cm²)	2,00

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

d) Sector descarga Reinoso

Se ubica en el Km 9,00 del canal Alto y se desarrolla desde la compuerta éste hasta el camino a Catemu en una longitud de 2,00 km aprox. De acuerdo a la exploración realizada en el terreno estudiado, para el sector de la descarga Reinoso. El primer pozo se excavó aproximadamente a 500 m de la descarga, cuyo modelo estratigráfico se muestra en el Cuadro 2.10.2.2-7.

El horizonte H3 puede caracterizarse por las propiedades mecánicas que se muestran en el Cuadro 2.10.2.2-8.

CUADRO 2.10.2.2-7
MODELO ESTRATIGRÁFICO SECTOR REINOSO, PUENTE Km 0,5

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00-0,50	Suelo erosionado y removido en matriz limo areno gravosa, raicilla y gravas aisladas
H-2	0,50-1,40	Limo arenoso color café claro, humedad media, consistencia alta
H-3	1,40-1,40+	Arena gravosa, color café claro, humedad media, compacidad alta, grava de cantos angulares, tamaño máximo 2,5" , presenta bolsones, limo arenoso.
Nivel Freático	-	No se detectó.

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.10.2.2-8
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO SECTOR REINOSO, PUENTE Km 0,5

Propiedad	ESTRATO
Peso unitario natural: γ (t/m^3)	1,94
Densidad relativa: (%)	>75
Ángulo de fricción interna: ϕ ($^\circ$)	39
Cohesión: c (t/m^2)	0,10
Clasificación:	SM
Tensiones admisibles cargas estáticas: q (kg/cm^2)	2,00
Tensiones admisibles cargas sísmicas: q (kg/cm^2)	3,00

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

El segundo pozo se excavó a 740 m de la descarga, y su modelo estratigráfico se muestra en el Cuadro 2.10.2.2-9.

CUADRO 2.10.2.2-9
MODELO ESTRATIGRÁFICO SECTOR REINOSO, PUENTE Km 0,74

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00-0,90	Relleno artificial y derrame cerro erosionado, de matriz limo arenosa, color café, con abundantes raíces y ralcillas.
H-2	0,90-1,20	Limo arenoso color café claro, humedad media, consistencia alta
H-3	1,20-1,50	Grava areno limosa, color café claro, humedad media, compacidad alta, grava de cantos angulares, tamaño máximo 2,5"
H-4	1,50-1,50+	Limo areno arcilloso, color café claro, humedad media, consistencia alta, estructura homogénea.
Nivel Freático	-	No se detectó.

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

El horizonte H4 puede caracterizarse por las propiedades mecánicas mostradas en el Cuadro 2.10.2.2-10.

CUADRO 2.10.2.2-10
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO SECTOR REINOSO, PUENTE Km 0,74

Propiedad	Estrato
Peso unitario natural: γ (t/m^3)	1,85
Resistencia a compresión simple: kg/cm^2	0,9
Índice de huecos natural:	0,87
Tensión de pre consolidación: kg/cm^2	1,5
Índice de re compresión:	0,014
Clasificación:	SM
Tensiones admisibles cargas estáticas: q (kg/cm^2)	1,00
Tensiones admisibles cargas sísmicas: q (kg/cm^2)	1,50

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

El tercer pozo se excavó a 1835 m de la descarga. Sus características se muestran en el modelo estratigráfico del Cuadro 2.10.2.2-11.

El horizonte H2 puede caracterizarse por las propiedades mecánicas mostradas en el Cuadro 2.10.2.2-12.

CUADRO 2.10.2.2-11
MODELO ESTRATIGRÁFICO SECTOR REINOSO, PUENTE KM 1,835

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00-0,60	Limo areno gravoso, color café claro, humedad media, consistencia mediana, gravas de cantos redondeados, tamaño máximo 3"
H-2	0,60-1,60+	Grava arenosa, color gris, humedad media, compacidad alta, estructura homogénea, Bolones de hasta 10" de tamaño máximo
Nivel Freático	-	No se detectó.

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

CUADRO 2.10.2.2-12
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO SECTOR REINOSO, PUENTE KM 0,74

Propiedad	Estrato
Peso unitario natural: γ (t/m^3)	2,2
Densidad relativa: (%)	>65
Ángulo de fricción interna: ϕ ($^\circ$)	37
Cohesión: c (t/m^2)	0,00
Clasificación:	GP
Tensiones admisibles cargas estáticas: q (kg/cm^2)	2,50
Tensiones admisibles cargas sísmicas: q (kg/cm^2)	3,50

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

e) Sector descarga Santa Margarita

Se ubica en el Km 12,82 del trazado. De acuerdo a la exploración realizada en el terreno estudiado, se tienen e modelo estratigráfico mostrado en el Cuadro 2.10.2.2-13

El horizonte H3 puede caracterizarse por las propiedades mecánicas mostradas en el Cuadro 2.10.2.2-14.

CUADRO 2.10.2.2-13
MODELO ESTRATIGRÁFICO SECTOR SANTA MARGARITA

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00-0,70	Capa vegetal de matriz, limo arcillosa, color café con gravas y bolones de hasta 12"
H-2	0,70-1,70	Limo areno arcilloso, color café claro, consistencia media, estructura homogénea, con bolones de hasta 10"
H-3	1,70-1,70+	Limo areno arcillo gravoso, color café claro, humedad media, consistencia alta, estructura homogénea, con gravas de hasta 1.5" de tamaño máximo.
Nivel Freático	-	No se detectó.

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

CUADRO 2.10.2.2-14
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO SECTOR SANTA MARGARITA

Propiedad	ESTRATO
Peso unitario natural: γ (t/m^3)	1,90
Resistencia a compresión simple: kg/cm^2	0,4
Índice de huecos natural:	0,65
Tensión de pre consolidación: kg/cm^2	2,0
Índice de re compresión:	0,010
Clasificación:	ML
Tensiones admisibles cargas estáticas: q (kg/cm^2)	1,00
Tensiones admisibles cargas sísmicas: q (kg/cm^2)	1,50

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

f) Sector entrega El Pimiento.

Se ubica en el Km 15,12 del trazado. De acuerdo a la exploración realizada en el terreno estudiado, se tienen el modelo estratigráfico mostrado en el Cuadro 2.10.2.2-15.

El horizonte H2 puede caracterizarse por las s propiedades mecánicas mostradas en el Cuadro 2.10.2.2-16.

CUADRO 2.10.2.2-15
MODELO ESTRATIGRÁFICO SECTOR PIMIENTO

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00-0,75	Derrame de material de cerro, suelto, erosionado y removido en matriz, limo areno arcilloso, con raíces y raicillas, gravas y bolones de hasta 4"
H-2	0,75-0,75+	Estratificaciones de suelos finos limo arenosos y arenas finas limosa color café, de consistencia y compacidad media a alta, estrucutra homogénea, con gravas y bolones de 3" y 6" de tamaño máximo respectivamente.
Nivel Freático	-	No se detectó.

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000.

CUADRO 2.10.2.2-16
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO SECTOR PIMIENTO

Propiedad	Estrato
Peso unitario natural: γ (t/m^3)	1,74
Resistencia a compresión simple: kg/cm^2	0,8
Índice de huecos natural:	0,66
Tensión de pre consolidación: kg/cm^2	1,0
Índice de re compresión:	0,009
Clasificación:	CL-ML
Tensiones admisibles cargas estáticas: q (kg/cm^2)	1,00
Tensiones admisibles cargas sísmicas: q (kg/cm^2)	1,50

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000.

g) Sector descarga las Varillas y Entrega canal Bajo

La descarga se desarrolla primero por el pie del cerro hasta antes del camino Catemu-Cerrillos, para posteriormente atravesar una planicie de suave pendiente de terrenos agrícolas, correspondientes al valle del estero Catemu hasta terminar este. De acuerdo a lo anterior el trazado atravesaría dos tipos de suelo. El primero correspondería a materiales provenientes de la roca meteorizada del cerro movilizada por el efecto de las aguas superficiales y la gravedad. El segundo tramo correspondería principalmente a depositaciones del tipo fluvial originadas en la acción de las aguas del estero Catemu, los que se alternarían y mezclarían con suelos finos provenientes del cerro. En el Cuadro 2.10.2.2-17 se muestra el modelo estratigráfico adoptado.

Las propiedades mecánicas de los pozos anteriores se resumen en el Cuadro 2.10.2.2-18.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.10.2.2-17
MODELO ESTRATIGRÁFICO SECTOR LAS VARILLAS Y ENTREGA CANAL BAJO

Pozo 1 (pie de cerro)		
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00-0,60	Capa vegetal, limo arcilloso, color café claro, con raicillas.
H-2	0,60-1,60	Limo arcilloso, color café claro, humedad media, consistencia media, estructura vesicular, presenta raicillas y trozos de roca de cantos angulares, tamaño 5"
H-3	1,60-1,60+	Arena limosa, color café claro, tipo maicillo, humedad media, compacidad alta, estructura homogénea.
Nivel Freático	-	No se detectó.
Pozo 2 (planicie)		
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00-0,60	Capa vegetal, limo arcilloso, color café claro, con raicillas.
H-2	0,60-0,60+	Estratificaciones de suelos finos arenosos, limosos o arcillosos, color café claro, consistencia media, y arenas finas limosas, color café claro, compacidad media, estructura homogénea, algunos con gravas de cantos angulares.
Nivel Freático	-	No se detectó.

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

CUADRO 2.10.2.2-18.
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO SECTOR SANTA MARGARITA

Propiedad	Pozo 1	Pozo 1
Clasificación:	SC-SM	CL
Peso Específico:	2,66	2,71
Peso unitario natural: γ (t/m^3)	1,84	1,69
Humedad natural:	10%	-
Límite líquido:	23%	23%
Indice de plasticidad:	7%	5%
Índice de huecos:	0,59	0,94
Resistencia a la compresión simple: kg/cm ^{2}	0,33	0,24

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000.

h) Sector descarga San José

Se excavaron 5 calicatas de aproximadamente 2,5 m de profundidad. El modelo estratigráfico determinado se muestra en el Cuadro 2.10.2.2-19.

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.10.2.2-19
ESTRATIGRAFÍA CALICATAS EXCAVADAS SECTOR SAN JOSÉ

Calicata	Estratos	Profundidad	Descripción
Calicata N° 1	H-1	0,00 - 0,50	Relleno no controlado
	H-2	0,50 - 2,00	Arcilla de color café, humedad media, plasticidad media a baja, consistencia media, estructura de migajón, algo porosa (CL según USCS)
Calicata N° 2	H-1	0,00 - 0,60	Relleno artificial
	H-2	0,60 - 1,10	Arcilla de color negruzco, de humedad media a alta, plasticidad media, consistencia baja y algunas raicillas
	H-3	1,10 - 1,15	Lente de grava areno arcillosa. **Se encuentra napa freática.**
	H-4	1,15 - 2,20	Arcilla con gravas y arena media, tamaño máximo de 1,5". Las gravas son de canto redondeados y subredondeados, y la matriz de color café, consistencia baja y plasticidad media.
Calicata N° 3	H-1	0,00 - 0,30	Relleno artificial
	H-2	0,30 - 0,70	Limo arcilloso de color café, humedad media, plasticidad media a baja, consistencia baja, estructura algo porosa, con tonos de oxidación y algunas raicillas.
	H-3	0,70 - 1,50	Arena limosa de color café castaño, de humedad media a alta, plasticidad baja, compacidad media, estructura algo porosa con tonos de oxidación y algunas raicillas.
	H-4	1,50 - 1,60	Lente de grava areno arcillosa
	H-5	1,60 - 2,40	Limo arcilloso de color café, con humedad de saturación, plasticidad baja, tonos de oxidación y consistencia baja. **Se encuentra napa freática.**
Calicata N° 4	H-1	0,00 - 0,50	Limo algo arenoso de color café, humedad media, plasticidad baja, consistencia baja a media, algunas raicillas y raíces.
	H-2	0,50 - 1,50	Grava arenolimosa de tamaño máximo 10", con bolones y clastos en un 25% aproximadamente. Las gravas son de cantos redondeados y sub-redondeados con tonos de oxidación. Las arenas son finas a media y de color gris. La humedad es la saturación, la plasticidad nula y la compacidad media. **Se encuentra napa freática.**
Calicata N° 5	H-1	0,00 - 0,25	Capa vegetal.
	H-2	0,25 - 0,45	Grava arenolimosa, de tamaño máximo 3" con bolones en un 10% aproximadamente. Las gravas son de cantos redondeados y subredondeados de color café claro, humedad baja, compacidad media, estrato pobremente graduado.
	H-3	0,45 - 2,50	La grava se torna menos limosa y aumenta el tamaño máximo a 8" (en un 40% aprox). Las gravas siguen siendo de cantos redondeados y la compacidad media.

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

De los antecedentes obtenidos anteriormente los parámetros de diseño se muestran en el Cuadro 2.10.2.2-20.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.10.2.2-20
PARÁMETROS DISEÑO ADOPTADOS

Parámetro	Sector Obra de Arte	Sector Descarga a Río
Ø (°)	25	36
C (kg/cm²)	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio de Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt Ingeniería, 2000

2.10.3. Cartografía con los Pozos y Calicatas Recopilados

En la Figura 2.10.3-1, se muestra una figura en planta tomada del Google Earth, en donde se ilustra la ubicación de los pozos y calicatas encontrados, de acuerdo con la bibliografía revisada, la cual se ha georreferenciado según coordenadas UTM Datum WG19S84 uso 19. En tanto, el Cuadro 2.10.3-1 muestra el kilometraje y coordenadas de cada pozo, junto con citar a la empresa que lo ejecutó.

FIGURA 2.10.3-1
CARTOGRAFIA CON LOS POZOS Y CALICATAS RECOPILADOS

Datum WGS1984, uso 19
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 2.10.3-1
POZOS Y CALICATAS RECOPILADOS

N°	Kilometraje (m)	Coord. UTM WGS84		N° Calicatas	Ejecuto
		Este (m)	Norte (m)		
C1	0,000	327.860	6.373.846	2	Electrowatt
C2	0,545	327.342	6.373.932	1	Electrowatt
C3	1,290	326.732	6.373.538	1	Electrowatt
C4	1,900	326.621	6.372.948	1	Electrowatt
C5	2,200	326.424	6.372.723	1	Electrowatt
C6	3,153	325.614	6.372.918	1	Electrowatt
C7	3,673	325.086	6.372.981	1	Electrowatt
C8	5,450	324.102	6.371.832	1	Electrowatt
C9	5,600	324.006	6.371.757	1	Electrowatt
C10	5,690	323.945	6.371.749	1	Electrowatt
C11	5,690	323.891	6.371.739	1	Electrowatt
C12	7,257	322.866	6.372.418	1	Electrowatt
C13	8,040	322256	6.372.134	1	Electrowatt
C14	8,040	322.340	6.371.637	1	Electrowatt
C15	8,040	322.436	6.371149	1	Electrowatt
C16	8,040	322.493	6.370.841	1	Electrowatt
C17	8,040	322.047	6.370.669	1	Electrowatt
C18	8,050	322.134	6.372.630	1	Electrowatt
C19	9,000	321.670	6.371.786	1	Electrowatt
C20	9,000	321.908	6.371.442	1	Electrowatt
C21	9,000	321.766	6.370.578	1	Electrowatt
C22	9,300	321.305	6.371.859	1	Electrowatt
C23	9,900	320.807	6.371.603	1	Procivil (Geofun)
C24	9,900	320.807	6.371.603	1	Procivil (Geofun)
C25	11,600	319.620	6.371.433	1	Procivil (Geofun)
C26	11,600	319.620	6.371.433	1	Procivil (Geofun)
C27	12,000	319.454	6.371.368	1	Procivil (Geofun)
C28	12,200	319459	6371.566	1	Electrowatt
C29	12,300	319.419	6.371.653	1	Procivil (Geofun)
C30	12,400	319.448	6.371.745	1	Electrowatt
C31	12,820	319.626	6.372.069	1	Electrowatt
C32	13,300	319.436	6.372.463	1	Electrowatt
C33	13,980	318.878	6.372.498	1	Procivil (Geofun)
C34	15,120	317.918	6.372318	2	Electrowatt
C35	15,165	317.878	6.372.335	1	Procivil (Geofun)
C36	16,300	317.259	6.372.536	1	Procivil (Geofun)
C37	17,750	318.159	6.373.306	1	Procivil (Geofun)
C38	18,720	318.517	6.373.927	1	Electrowatt
C39	19,200	318.244	6.374.220	5	Electrowatt

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3

ESTUDIOS DE TERRENO

3. ESTUDIOS DE TERRENO

3.1. GENERALIDADES

En este capítulo se describen los estudios básicos y de terreno tendientes a dar el soporte necesario al desarrollo de alternativas y prediseños del estudio de mejoramiento de los Canales Arriba Catemu, Abajo Catemu y Pepino.

3.2. TOPOGRAFÍA

3.2.1. Introducción

Los trabajos realizados corresponden a los siguientes:

- Construcción de PR's desde el punto IGM a zona de estudio, dentro de la zona de estudio y sector de bocatoma: 57 PR's.
- Poligonal Geodésica de PR's desde el punto IGM a la zona de estudio, dentro de la zona de estudio y sector de bocatoma: 85,58 km.
- Nivelación de PR's de la zona de estudio y bocatoma: 85,58 km.
- Levantamiento topográfico de sector de bocatoma: aproximadamente 7.000 m^2
- Levantamiento topográfico Canal Arriba de Catemu: desde el Km 0 al Km 15,80 (entrada de Túnel N°2) y desde el Km 16,00 (salida del Túnel N°2) al Km 17,60.
- Levantamiento topográfico sector de Minicentral Hidroeléctrica Proyectada y Restitución Proyectada al Estero Catemu: desde el Km 16,00 del Canal Arriba de Catemu hacia el Estero de Catemu, con una longitud de 1,80 km aproximadamente.
- Levantamiento topográfico Canal Abajo de Catemu: desde el Km 16,00 del Canal Arriba de Catemu, con una longitud de 1,60 km hacia aguas abajo.

3.2.2. Presentación de Resultados

Se presenta en el Cuadro 3.2.2-1 en forma resumida las coordenadas UTM, coordenadas planas topográficas y cotas geométricas de los PR's medidos en la zona de estudio.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.2.2-1
COORDENADAS PLANAS Y COTAS
GEOMÉTRICAS DE PR's

Nombre	Norte (m)	Este (m)	Cota (m)
A CA 1	6.368.332,182	316.894,406	414,714
A CA 2	6.369.027,782	316.635,642	417,215
A CA 3	6.370.042,809	316.569,571	416,172
A CA 4	6.371.076,651	316.490,620	415,198
A CA 5	6.371.785,874	317.285,073	421,383
A CA 6	6.372.161,585	318.003,227	442,462
A CA 7	6.372.246,341	318.873,100	449,894
A CA 8	6.371.740,610	319.181,672	448,840
A CA 9	6.371.274,731	319.344,740	453,075
A CA 10	6.371.141,232	319.543,339	454,518
A CA 11	6.371.311,209	320.696,433	454,554
A CA 12	6.370.407,350	321.245,134	454,985
A CA 13	6.370.661,056	322.056,042	462,817
A CA 14	6.371.629,067	322.359,199	478,843
A CA 15	6.371.734,172	322.663,228	479,524
A CA 16	6.371.475,960	323.748,546	481,134
A CA 17	6.372.131,644	324.415,656	492,648
A CA 18	6.372.678,457	325.110,895	506,846
A CA 19	6.372.833,972	325.786,564	512,152
A CA 20	6.373.494,102	326.771,973	517,748
A CA 21	6.373.570,085	327.437,589	518,107
A CA 22	6.373.674,512	327.638,004	520,123
A CA 23	6.373.824,292	327.880,284	524,065

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Resumen Listado de PR's Densificados Zona La Ligua – Catemu

En el cuadro 3.2.3-1 se presenta el listado de los PR's en el sector mencionado.

CUADRO 3.2.3-1
COORDENADAS PLANAS Y COTAS
ELIPSOIDALES DE PR's

Nombre	Norte (m)	Este (m)	Cota (m)
A CA 1	6.368.332,182	316.894,406	414,714
CA33	6.367.792,775	315.790,087	433,000
CA32	6.365.990,685	315.058,175	414,748
CA31	6.364.224,513	314.054,762	401,846
CA30	6.364.430,228	311.595,653	388,274
CA29	6.364.679,854	309.560,291	376,785
CA28	6.364.758,429	307.380,745	355,111
CA27	6.364.294,556	305.417,938	338,513
CA26	6.363.829,735	303.439,997	324,238
CA25	6.364.913,315	301.713,195	310,156

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.2.3-1
COORDENADAS PLANAS Y COTAS
ELIPSOIDALES DE PR's

Nombre	Norte (m)	Este (m)	Cota (m)
CA24	6.366.121,076	300.083,841	292,944
CA23	6.367.746,781	298.851,021	277,319
CA22	6.369.521,636	297.513,259	259,236
CA21	6.370.950,596	296.033,928	247,512
CA20	6.372.642,461	294.503,199	236,489
CA19	6.374.603,924	294.145,497	239,922
CA18	6.376.540,939	293.674,745	247,881
CA17	6.378.730,806	293.264,990	254,362
CA16	6.380.788,419	292.922,175	263,301
CA15	6.382.795,070	292.485,132	272,257
CA14	6.384.652,640	291.673,502	282,122
CA13	6.386.481,359	290.548,269	339,839
CA12A	6.388.616,401	290.690,745	465,718
CA12	6.390.006,197	289.722,585	550,912
CA11	6.392.106,006	289.181,424	282,274
CA10	6.393.775,629	288.088,176	171,345
CA9	6.395.602,798	287.297,263	138,748
CA8	6.397.596,785	287.211,465	140,280
CA7	6.399.547,774	287.558,704	128,314
CA6	6.401.531,454	287.712,576	100,501
CA5	6.403.525,630	287.683,307	92,336
CA4	6.405.436,191	287.894,917	82,768
CA3	6.407.074,426	289.062,047	92,635
CA2	6.408.676,558	290.299,858	70,206

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Conclusiones

La densificación de PR's en la zona de riego, tenía por objetivo el levantamiento del canal Alto Catemu. Sin embargo, de los 23 PR's A CA materializados, solo no se utilizaron los A CA N° 1, 2, 3 y 4, para efectos de levantamientos topográficos.

El detalle de los trabajos topográficos realizados se presenta en detalle en el Volumen 2 de este estudio.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.3. MECÁNICA DE SUELOS

3.3.1. Introducción

El estudio de mecánica de suelos tiene la finalidad de conocer con cabalidad las características de los suelos de fundación a través de parámetros necesarios para el dimensionamiento de obras civiles.

En este acápite se inicia con el análisis de antecedentes geológicos y de mecánica de suelos disponibles de estudios anteriores, adicionalmente en este estudio se consideraron nuevas prospecciones efectuadas que consideraron: 18 nuevas calicatas en el trazado del canal, exploraciones mediante 2 sondajes de 15 m de profundidad, emplazados en la zona de la bocatoma, 10 mediciones geofísicas en los sectores de salida de Túnel 1, entrada y salida proyectada del Túnel Salesianos (proyectado en estudios anteriores), finalizando con perfiles en la entrada y salida de Túnel 2.

De la estratigrafía de los pozos de exploración y del sondaje, de los resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras extraídas de ellos y de los resultados de las mediciones geofísicas, han surgido los modelos estratigráfico y de propiedades mecánicas del suelo de fundación, que se han utilizado en los cálculos para determinar la capacidad de soporte de fundaciones de obras de arte, asentamientos, constantes de balasto, empujes sobre muros de contención, condiciones estables para taludes, reforzamiento mecánico de cortes, recomendaciones para ampliación de túneles y recomendaciones para construcción de fundaciones.

3.3.2. Antecedentes Utilizados

Antecedentes de exploraciones realizadas para distintas etapas de este proyecto, en variados puntos del canal Catemu:

- Informe de Mecánica de Suelos elaborado por Geofun Ltda. para Procivil en 1995, en la etapa de Prefactibilidad del Proyecto Mejoramientos Canales Catemu, V región.
- Informe de Mecánica de Suelos elaborado por Geocav Ltda. para ElectroWatt en 2000, en la etapa de Prefactibilidad y diseño del Proyecto Mejoramientos Canales Catemu, V región.
- Informe Geológico – Geotécnico Puntilla Las Máquinas, Catemu, V región. Elaborado para la Asociación de Canales Unidos de Catemu en 1987.
- Informe de sondaje sector Bocatoma. Octubre 2011. Estratigrafía de sondaje, nivel freático, registro de perforación y fotografías de testigos.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Informe geofísico sectores: bocatoma, túnel 2, Minicentral Hidroeléctrica, aguas arriba del túnel 2 y aguas debajo de la restitución. Septiembre 2011.
- Informe de ensayos de mecánica de suelos. Sitio de empréstito en sector Bocatoma. Estratigrafía de pozos. Clasificación USCS completa realizado por TECNOLAB-KBA-IC Octubre 2011.
- Informe de ensayos de mecánica de suelos, calicatas en el canal, estratigrafías, y granulometrías realizado por LABSAI Enero 2012.

Otros antecedentes:

- J.E. Bowles, "Foundation Analysis and Design". Ed. Mc. Graw-Hill, 1977.
- Geografía de Chile, del Instituto Geográfico Militar, Tomo II, Geomorfología, 1983.
- Mapa Geológico de Chile, escala 1:1.000.000, Servicio Nacional de Geología y Minería, 1982.
- Jiménez Salas, J, Justo Alpañes, J, "Geotecnia y Cimientos I". Editorial Rueda, 2ª Edición, 1975.
- "Diseño de presas pequeñas", Bureau of Reclamation, United States Departament of the Interior, Compañía Editorial Continental S.A., México, novena impresión, mayo 1980.
- Programa computacional "XSTABL". Programa codificado en la Universidad de Purdue, Indiana, USA.

3.3.3. Geología

3.3.3.1. Generalidades

El Valle de Catemu se localiza en el margen derecho del Río Aconcagua, aguas abajo de la ciudad de San Felipe, entre los 32° 48' y 32° 40' de latitud sur, y 70° 51' y 70° 58' de longitud oeste.

El Valle de Catemu, es una de las áreas de riego más importantes de la cuenca del Río Aconcagua. Las aguas son captadas de los canales Alto y Bajo Catemu, canal Pepino o Huidobro y caudales menores desde el propio Estero Catemu. Se considera su capacidad de regadío una condición hidrológicamente asegurada, dado que así ha sido en los últimos 140 años ya que corresponde a una zona de fuertes afloramientos y recuperaciones.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La longitud total de los canales es de 72,6 km, 45,9 km del canal Alto y 26,7 km del canal Bajo. Su recorrido incluye el paso por el sector llamado "Puntilla Las Máquinas", formación de cerro de disposición elongada, que nace 4 km al noreste de Catemu.

3.3.3.2. Antecedentes Geomorfológicos y Geológicos Generales

El proyecto a nivel macro, está ubicado en la ladera sur de un cordón de cerros que forman la "Cuenca transicional semiárida de Catemu", al sur oriente de los cerros Chache (2.333 m) y Caqui. Por el costado sur de la cuenca los depósitos de suelos originados en los cerros engranan con los depósitos fluviales del río Aconcagua y sus pequeños tributarios septentrionales. Esta depresión está orientada de norte a sur, entre los 2 sistemas orográficos más importantes del país (Cordillera de los Andes y Cordillera de la Costa), y corresponde geológicamente a bloques hundidos y basculados a diferentes profundidades.

El trazado del canal cruza en general por zonas de escombros de faldas y conos de deyección que cubren parcialmente un intrusivo de tipo granítico. En las laderas de los cerros se observan bloques y bolones en una matriz areno arcillosa, restos de un modo de descomposición esferoidal. También se observan sectores con abundante suelo residual (maicillo) proveniente de la descomposición in situ de la roca en diferente grados. Las quebradas más importantes y de mayor cuenca se encuentran rellenas con arrastres del suelo formado en las zonas altas de los cerros y que se caracterizan por tener gravas de cantos angulosos en una matriz fina de limo y/o arcilla. Además se observan depósitos esporádicos y erráticos de material piroclástico de tamaño de arena fina a limo mezclados con los suelos típicos de la zona, probablemente fueron depositados por la acción del viento durante erupciones de volcanes de los Andes en las cumbres de los cerros y posteriormente lavados, arrastrados y mezclados por aguas de lluvias hasta los faldeos.

3.3.3.3. Geología Puntilla Las Máquinas

La geología de la Puntilla Las Máquinas corresponde a la que se describe en lo que sigue.

a) Rocas Volcánicas (Kv)

Fundamentalmente las rocas volcánicas corresponden a andesitas del tipo porfírico, en parte se presentan como ocoítas, es decir, rocas porfíricas con desarrollo de plagioclasas de tamaños de centímetros. Tienen una amplia distribución hacia el noreste del área de Puntilla de las Máquinas. Estas rocas volcánicas muestran una excelente estratificación con suave inclinación al noreste. Junto a las andesitas hay escasos estratos de brechas interestratificados. Los colores del paquete rocoso son en general gris oscuro.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Todo este paquete presenta rocas duras intensamente fracturadas, con una cubierta de meteorización de espesor relativamente escaso.

Corresponden a las rocas descritas como Formación Las Chucas, por Herbert Thomas.

Tal como se mencionó, esta unidad se ubica hacia el extremo noreste y señala el inicio del "Apéndice" que es la Puntilla Las Máquinas.

b) Rocas de Contacto o Rocas Mixtas (Kiv)

Corresponde a una delgada zona ubicada inmediatamente hacia el suroeste de las rocas volcánicas. Su forma es como de una media luna abierta hacia la Puntilla Las Máquinas.

Está compuesta por rocas duras, fracturadas, correspondiente básicamente a rocas intrusivas con asimilaciones variables de rocas volcánicas, lo cual ha generado una roca altamente variable en lo textural y en lo químico. Su textura básica es de grano fino En parte está silicificada lo cual le imprime una dureza extra. En general esta roca es aleatoria en sus condiciones geotécnicas dado que según se ha comprobado en prospecciones del tipo de sondajes, en ciertas ocasiones presenta condiciones variables de dureza y calidad.

Cabe destacar que no existe zona de metamorfismo de contacto del tipo de argilización o seritización tal que la roca haya perdido sus características básicas de dureza y fábrica.

c) Rocas Intrusivas (Ki)

Las rocas intrusivas corresponden básicamente a granodiorita, conocidas generalmente como "Ala de mosca". Se localiza en todo lo que es la Puntilla Las Máquinas y en zonas de cerros cercanos. Ha sido bien observada al interior del túnel mayor actual del canal Alto.

Presenta diversas calidades geotécnicas: hacia la vertiente norte de la puntilla se encuentra intensamente fracturada y meteorizada, en otros sectores, como es el portal de salida del actual túnel del Canal El Alto, se presenta muy fresca, con fracturamiento escaso. Se espera que en profundidad se presente fresca, dura y geotécnicamente competente tal como ha sido reconocida en el túnel del canal El Alto.

Las características de las zonas de meteorización, que dan origen a sucesivos deslizamientos indican que la roca se ha descompuesto generando una degradación de los

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

minerales feldespáticos hacia arcilla y dando origen a un residuo compuesto de arcilla y granos de cuarzo comúnmente conocido por "maicillo". Este material en condiciones de lluvias severas y debido a la pendiente del terreno, a los cortes generados por el canal El Alto, así como a la saturación que este produce, procede a colapsar o deslizarse creando así caídas de volumen de material ya sea sobre el canal o sobre las poblaciones ubicadas ladera abajo.

d) Sedimentos No Consolidados

Los sedimentos no consolidados que se presentan en el área corresponden a conos de deyección, escombro de falda y depósitos aluviales:

Conos de deyección (Qc): Unidad geológica compuesta por cubiertas de tierra vegetal bajo la cual existen bloques y gravas en matriz limosa. Superficie inclinada.

Escombros de falda (Qef): Borde entre la pendiente de los cerros y la zona plana. Compuesto por material fino, principalmente arcilla con escasas gravas. No presenta cubierta de suelo vegetal.

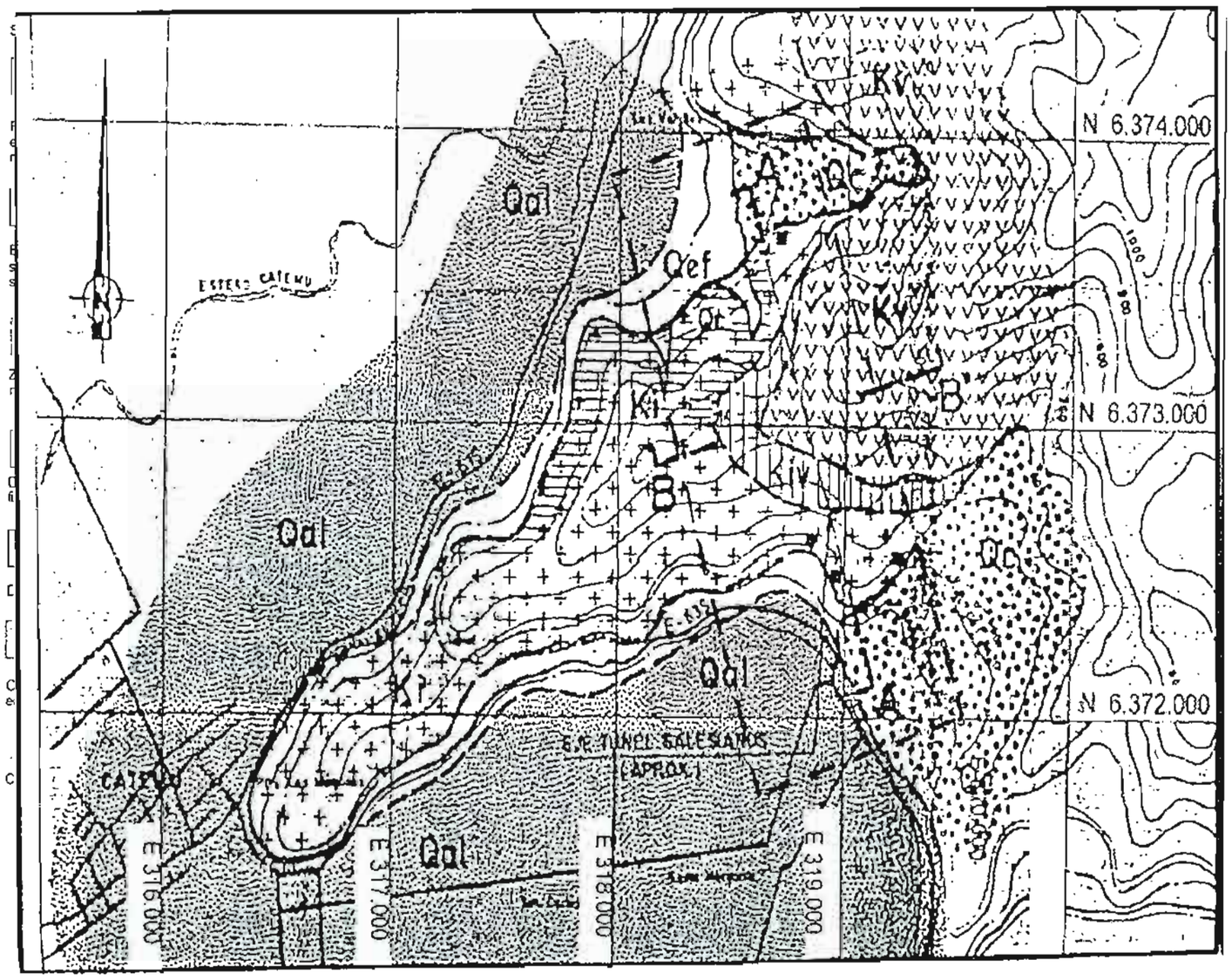
Estratificación granulométrica que sigue la inclinación de pendiente natural del terreno.

Depósitos aluviales (Qal): Corresponde a zonas planas, en partes aterrazadas, que rellenan la parte central de los principales valles. Cubierta de suelo vegetal de espesor variable, bajo la cual se encuentran bloques redondeados en matriz limo arenosa. Sectores con lenticularidades de finos y arenas.

La Figura 3.3.3.3-1 corresponde al plano geológico del área de Puntilla Las Máquinas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.3.3.3-1
GEOLOGÍA DEL ÁREA DE PUNTILLA LAS MÁQUINAS



SIMBOLOGÍA

Kv — ROCAS VOLCÁNICAS

Formación Las Chucas. Las rocas sedimentarias y volcánicas presentan muy buena estratificación de basaltos, andesitas, brechas, tobas rojas, lutitas y calizas. Duras, meterización superficial, fracturamiento medio a intenso.

Ki — ROCAS INTRUSIVAS

Basamento de la Costa, principalmente compuesto por granodiorita color gris claro, en sectores presenta zonaciones acidas. En general presenta meteorización intensa en superficie. En profundidad se presentará fresca, dura, poco fracturada.

ROCAS MIXTAS

Zona de rocas de contacto, cambios mineralógicos, silicificación. En general duras, meteorización superficial.

Qt — CONOS DE DEYECCIÓN

Depósito de sedimentos compuesto por arrastre de material grueso, gravas y bolones, matriz fina. Cubierta de suelo fino de escaso espesor.

Qef — ESCOMBRO DE FALDA

Depósito de gravas y gravillas en matriz fina, en parte de baja plasticidad.

Qal — DEPÓSITOS ALUVIALES

Cubierta de suelo fino de espesor variable, dispuesta sobre gravas y bloques redondeados en matriz limo arenosa, lenticular. Superficie aterrazada.

CONTACTO GEOLÓGICO

Con trazo segmentado se indica contacto supuesto

ZONA DE INTENSA METEORIZACIÓN

Produce cárcavas, grietas y caida de material. Profundidad desconocida, superior a 4 m.

PERFIL GEOLÓGICO

PROSPECCIONES

AREA DEL TRAZADO

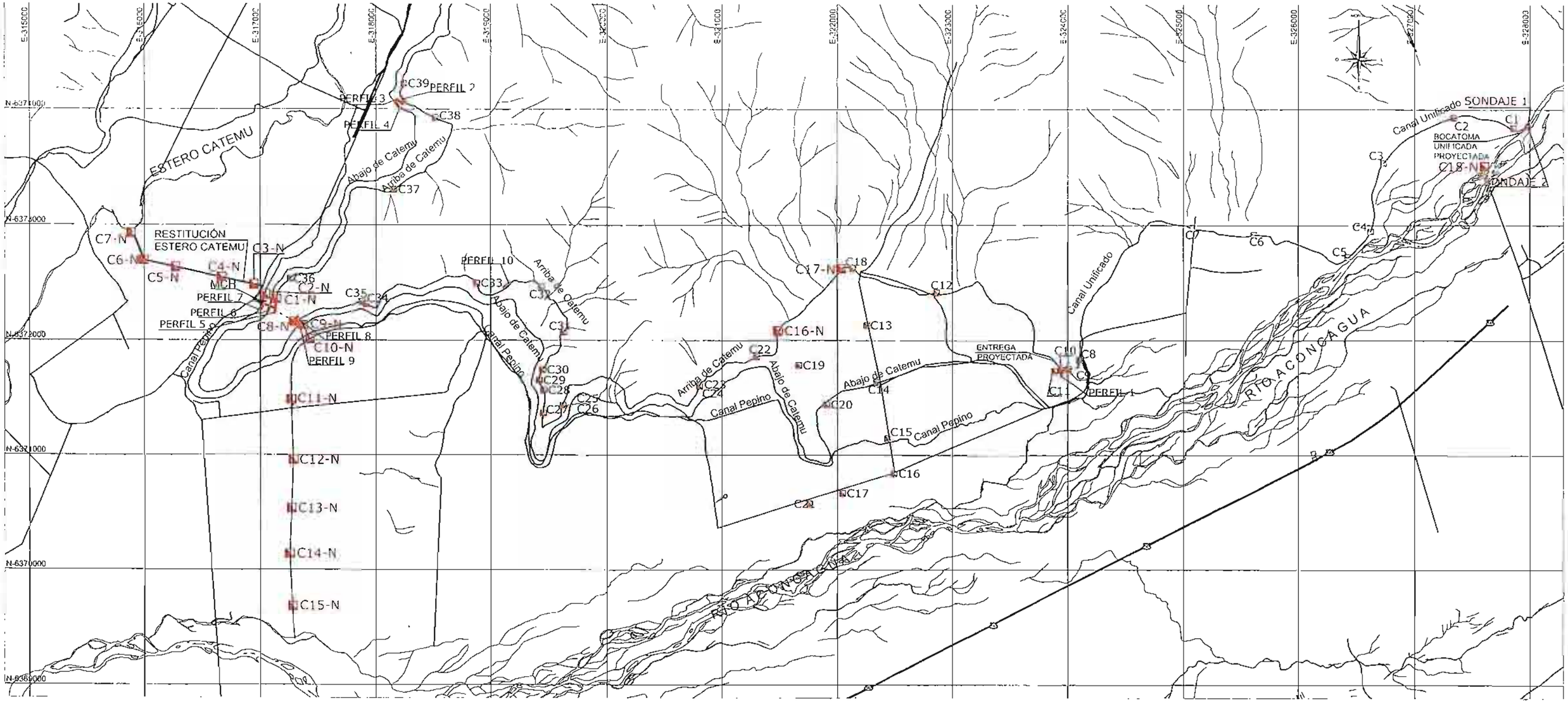
Fuente: "Estudio de Factibilidad y Diseño Mejoramiento Canales Catemu, V Región. Dirección de Riego-Electrowatt, 2000".

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.3.4. Descripción de Trabajos de Prospecciones

En la Figura 3.3.4-1 se presenta la ubicación de las calicatas existentes (de estudios anteriores) y nuevas, calicatas para empréstito, perfiles geofísicos y sondajes realizados por esta consultora.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl



CUADRO DE COORDENADAS DE NUEVAS CALICATAS

Nº	ESTE	NORTE
C1-N	317136	6372359
C2-N	317046	6372400
C3-N	316946	6372488
C4-N	316668	6372551
C5-N	316273	6372637
C6-N	315994	6372698
C7-N	315887	6372931
C8-N	317287	6372163
C9-N	317367	6372133
C10-N	317427	6372011
C11-N	317766	6371485
C12-N	317283	6370962
C13-N	317269	6370539
C14-N	317251	6370141
C15-N	317276	6369687
C16-N	321490	6372084
C17-N	322036	6372631
C18-N	322608	6373515

CUADRO DE COORDENADAS SONDAJES

NOMBRE	NORTE	ESTE
SON 1	6373853	327989
SON 2	6373863	327983

CUADRO DE COORDENADAS DE CALICATAS EXISTENTES

Nº	Este	Norte
C1	327860	6373846
C2	327342	6373932
C3	326732	6373538
C4	326621	6372948
C5	326424	6372723
C6	325614	6372918
C7	325086	6372981
C8	324102	6371832
C9	324006	6371757
C10	323945	6371749
C11	323891	6371739
C12	322866	6372418
C13	322256	6372134
C14	322340	6371637
C15	322436	6371149

Nº	Este	Norte
C16	322493	6370841
C17	322047	6370669
C18	322134	6372630
C19	321670	6371786
C20	321908	6371442
C21	321766	6370578
C22	321305	6371859
C23	320807	6371603
C24	320807	6371603
C25	319620	6371433
C26	319620	6371433
C27	319454	6371368
C28	319459	6371566
C29	319419	6371693
C30	319448	6371745

Nº	Este	Norte
C31	319626	6372069
C32	319436	6372463
C33	318878	6372498
C34	317918	6372318
C35	317878	6372335
C36	317259	6372536
C37	318159	6373306
C38	318517	6373927
C39	318244	6374220

SIMBOLOGÍA

- Calicatas Existentes
- Calicatas Nuevas
- Sondajes Nuevos

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

PROYECTO

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO. SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA

FECHA

Julio 2012

FIGURA Nº

3.3.4-1

PLANTA UBICACIÓN CALICATAS, SONDAJES Y PERFILES GEOFÍSICOS.

3.3.5. Descripción de Calicatas de Estudios Anteriores

En el Cuadro 3.3.5-1 se muestra el detalle de las calicatas existentes con anterioridad a la realización de esta consultoría, donde se presenta el kilometraje, coordenadas, profundidad, clasificación USCS, entre otros, y en el Cuadro 3.4.5-2 se muestra el resumen estratigráfico de dichas calicatas.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.c

CUADRO 3.3.5-1
DETALLE DE LAS CALICATAS DE ESTUDIOS ANTERIORES

Nº	Kilometraje (m)	Coord. UTM WGS84		Nº Calicatas	Ejecuto	Profundidad (m)	Perfil Estratigráfico	Clasificación Suelos	Comentarios
		Este (m)	Norte (m)						
C1	0,000	327.860	6.373.846	2	Electrowatt	4,0	si	SW-SM	Diseño bocatoma. se excavaron dos pozos de 4 y 3 metros ubicados al costado derecho del canal Alto, antes y despues de la compuerta existente. De cada uno se extrajo una muestra que fue analizada para clasificacion, densidades maximas y mínimas, peso unitario, angulo de friccion interna, cohesion
C2	0,545	327.342	6.373.932	1	Electrowatt	3,0	si	GW	Pozo excavado en Puente del trazado del canal Alto. Ensayos de densidades máximas y mínimas, compresion confinada y consolidacion.
C3	1,290	326.732	6.373.538	1	Electrowatt	3,0	si	ML	Pozo excavado en Puente del trazado del canal Alto. Ensayos de densidades máximas y mínimas, compresion confinada y consolidacion.
C4	1,900	326.621	6.372.948	1	Electrowatt	-	no se realizó	N.A.	Análisis de taludes en sectores de posible ensanche del canal
C5	2,200	326.424	6.372.723	1	Electrowatt	5,0	si	SW-SM	Descarga Santa Isabel. Pozo 5 metros para clasificacion, densidades máximas y mínimas, peso unitario, angulo de friccion interna, cohesion
C6	3,153	325.614	6.372.918	1	Electrowatt	3,0	si	SM-SC	Pozo excavado en Puente del trazado del canal Alto. Ensayos de densidades máximas y mínimas, compresion confinada y consolidacion.
C7	3,673	325.086	6.372.981	1	Electrowatt	3,0	si	GP - GM	Pozo excavado en Puente del trazado del canal Alto. Ensayos de densidades máximas y mínimas, compresion confinada y consolidacion.
C8	5,450	324.102	6.371.832	1	Electrowatt	3,0	no se realizó	N.A.	Pozo excavado para ensayo de permeabilidad para ver la necesidad de construccion de revestimiento del canal.
C9	5,600	324.006	6.371.757	1	Electrowatt	-	no se realizó	N.A.	Análisis de taludes en sectores de posible ensanche del canal
C10	5,690	323.945	6.371.749	1	Electrowatt	3,0	si	SM	Primer Pozo de excavacion Descarga Vega. Se ubica en el km 5,69 del trazado, a la salida del túnel 1. Se divide en dos sectores, la cámara de disipación y el sector donde serán emplazados los canales. Esta corresponde al sector de la cámara de disipacion
C11	5,690	323.891	6.371.739	1	Electrowatt	3,0	si	SM	Segundo Pozo de excavacion Descarga Vega. Corresponde al Sector canales
C12	7,257	322.866	6.372.418	1	Electrowatt	3,0	si	no se indica	Pozo excavado en Puente del trazado del canal Alto. Ensayos de densidades máximas y mínimas, compresion confinada y consolidacion.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.5-1
DETALLE DE LAS CALICATAS DE ESTUDIOS ANTERIORES

Nº	Kilometraje (m)	Coord. UTM WGS84		Nº Calicatas	Ejecuto	Profundidad (m)	Perfil Estratigráfico	Clasificación Suelos	Comentarios
		Este (m)	Norte (m)						
C13	8,040	322.256	6.372.134	1	Electrowatt	2,5	si	CL	Se excavaron 5 calicatas de aproximadamente 2,5 metros. Estratigrafía, ensayos de plasticidad, consistencia. Calicata excavada para determinar las propiedades del suelo de sector de emplazamiento de la descarga del km 8,040 a 500 metros del canal.
C14	8,040	322.340	6.371.637	1	Electrowatt	2,5	si	no se indica	Segunda Calicata excavada a 950 metros del canal.
C15	8,040	322.436	6.371.149	1	Electrowatt	2,5	si	no se indica	Tercera Calicata excavada a 1500 metros del canal.
C16	8,040	322.493	6.370.841	1	Electrowatt	2,5	si	no se indica	Cuarta Calicata excavada a 1825 metros del canal.
C17	8,040	322.047	6.370.669	1	Electrowatt	2,5	si	no se indica	Quinta Calicata excavada a 2325 metros del canal.
C18	8,050	322.134	6.372.630	1	Electrowatt	2,0	si	CL-ML	Pozo excavado en Puente del trazado del canal Alto. Ensayos de densidades máximas y mínimas, compresion confinada y consolidacion.
C19	9,000	321.670	6.371.786	1	Electrowatt	3,0	si	SM	Diseño Descarga Reinoso
C20	9,000	321.908	6.371.442	1	Electrowatt	3,0	si	SM	Diseño Descarga Reinoso
C21	9,000	321.766	6.370.578	1	Electrowatt	3,0	si	GP	Diseño Descarga Reinoso
C22	9,300	321.305	6.371.859	1	Electrowatt	-	no se realizó	N.A.	Análisis de taludes en sectores de posible ensanche del canal
C23	9,900	320.807	6.371.603	1	Procivil (Geofun)	2,0	si	CL	Pozo excavado en Sector San Jose, bajo el canal Alto. Se realizó un ensaye a 2,0 metros de profundidad de permeabilidad, una clasificacion completa del suelo a 1,9 m.
C24	9,900	320.807	6.371.603	1	Procivil (Geofun)	1,5	si	SM (ML)	Pozo excavado en Sector San Jose, sobre el canal Alto. Se realizo una clasificacion completa del suelo a 1,5 metros y un ensaye de compresion no confinada.
C25	11,600	319.620	6.371.433	1	Procivil (Geofun)	2,0	si	CL-ML	Pozo excavado en Sector entrada San Jose, bajo el canal Alto. Clasificacion completa del suelo, ensaye de pearmibilidad
C26	11,600	319.620	6.371.433	1	Procivil (Geofun)	1,3	si	GP-GC(GM)	Pozo excavado en Sector entrada San Jose, bajo el canal Alto. Clasificacion completa del suelo.
C27	12,000	319.454	6.371.368	1	Procivil (Geofun)	2,0	si	SW	Sector El Pimiento sobre el canal el Bajo. Clasificacion completa de suelo y ensaye de compresion no confinada

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.5-1
DETALLE DE LAS CALICATAS DE ESTUDIOS ANTERIORES

N°	Kilometraje (m)	Coord. UTM WGS84		N° Calicatas	Ejecuto	Profundidad (m)	Perfil Estratigráfico	Clasificación Suelos	Comentarios
C28	12,200	319.459	6.371.566	1	Electrowatt	-	no se realizó	N.A.	Análisis de taludes en sectores de posible ensanche del canal
C29	12,300	319.419	6.371.653	1	Procivil (Geofun)	0,5	si	SC (CL)	Pozo excavado Sector Santa Margarita, sobre el canal Alto. Clasificacion completa del suelo.
C30	12,400	319.448	6.371.745	1	Electrowatt	0,5	no se realizó	N.A.	Pozo excavado para ensayo de permeabilidad para ver la necesidad de construccion de revestimiento del canal.
C31	12,820	319.625	6.372.069	1	Electrowatt	3,0	si	ML	Descarga Santa Margarita. Se excavó un pozo de 3.0 metros del cual se extrajo una muestra que fue sometida a ensayo de clasificación, compresion no confinada y consolidacion.
C32	13,300	319.436	6.372.463	1	Electrowatt	3,0	si	GM-GC	Pozo excavado en Puente del trazado del canal Alto. Ensayos de densidades máximas y mínimas, compresion confinada y consolidacion.
C33	13,980	318.878	6.372.498	1	Procivil (Geofun)	1,2	si	SC (CL)	Pozo excavado Sector Santa Margarita, sobre el canal Alto. Entrada al tunel proyectada
C34	15,120	317.918	6.372.318	2	Electrowatt	4,0	si	CL-ML	Entrega el Pimiento. Se excavaron dos pozos de 3 y 4 metros de profundidad. Ensayos de clasificacion y consolidacion. No fue posible ejecutar el ensayo de compresion.
C35	15,165	317.878	6.372.335	1	Procivil (Geofun)	2,2	si	CL-ML	Sector San Carlos, bajo el canal Alto. Ensaye de permeabilidad y clasificacion completa de suelo.
C36	16,300	317.259	6.372.536	1	Procivil (Geofun)	2,3	si	SM	Sector El Pimiento bajo el canal del Alto. Clasificacion completa del suelo y ensaye de permeabilidad
C37	17,750	318.159	6.373.306	1	Procivil (Geofun)	1,7	si	ML	Sector Las Varillas sobre el canal Alto. Clasificacion completa de suelo y 3 ensayes triaxiales CIU
C38	18,720	318.517	6.373.927	1	Electrowatt	3,0	no se realizó	N.A.	Pozo excavado para ensayo de permeabilidad para ver la necesidad de construccion de revestimiento del canal.
C39	19,200	318.244	6.374.220	5	Electrowatt	4,0	si	SP-SM / SW-SM / SP	Descarga las Varillas y Entrega a canal Bajo. Se excavaron 4 pozos de 4, 2,7 y 1,5 metros. Ubicados desde la cumbre hacia abajo a 0,2 y 0,6 veces la distancia entre los canales y en la cubeta del canal Bajo. Ensayos de clsificacion, densidades maximas y minimas, pesos unitarios.

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.5-2
ESTRATIGRAFÍA DE CALICATAS DE ESTUDIOS ANTERIORES

C1	En Bocatoma	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 – 2,70	Relleno estratificado formado por suelos arenosos y gravas arenosas, derrame del cerro de características areno limosas
H-2	2,70 – 2,70 +	Arena de granos medios, color gris, humedad media, compac dad media a alta, estructura homogénea, presentando alguna cementación.
Nivel Freático	-	No se detectó en los pozos pero debería estar determinado pcr el nivel del rio.
C2	Km 0,545	
Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 0,7	Relleno artificial
H-2	0,70 – 2,20	Grava arena limosa, color café, compacidad alta, bolones
H-3	2,20 – 2,20+	Grava arenosa, color gris, compacidad alta, bolones.
Nivel Freático	-	No se detectó.
C3	Km 1,290	
Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 0,5	Capa vegetal
H-2	0,50 – 1,50	Limo arcilloso color negro, consistencia media.
H-3	1,50 – 2,00	Arena limosa, color café claro, compacidad media a alta
H-4	2,00 – 2,00+	Arena limo arcillosa, color café claro, compacidad media
Nivel Freático	-	No se detectó.
C5	Km 2,2	
Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 0,70	Suelo erosionado y removido
H-2	0,70 – 0,70 +	Arena de granos medios, color gris claro, compacidad alta, estructura homogénea, presenta mica y clastos de cantos redondeados de 40" de tamaño máximo, en proceso de meteorización; presenta cementación.
Nivel Freático	-	No se detectó.
C6	Km 3,153	
Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 0,8	Arena limosa, color café claro, con raíces, raicillas y bolones
H-2	0,80 – 0,80+	Arena limos, color café claro, compacidad alta, gravas y bolones
Nivel Freático	-	No se detectó.

C7	Km 3,673	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 – 0,5	Relleno artificial
H-2	0,50 – 0,80	Limo arenoso, color café claro, raicillas, gravas y bolones
H-3	0,80 – 1,70	Limo areno gravoso, color café claro, consistencia alta, gravas y bolones
H-4	1,70 – 1,70 +	Grava areno limosa, color claro, compacidad alta, bolones de hasta 6"

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.5-2
ESTRATIGRAFÍA DE CALICATAS DE ESTUDIOS ANTERIORES

Nivel Freático	-	No se detectó.
C10	Km 5,69	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 – 0,80	Material superficial de derrame de cerro. Arcilla limosa, color negro presenta bolones y clastos de hasta 18" de tamaño medio
H-2	0,80 – 0,80 +	Material de pie de monte formado por trozos de roca, bolones y bloques en una matriz fina arcillosa, color café. Espesor indefinido
Nivel Freático	-	
C11	Km 5,69	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 – 1,40	Roca fracturada y descompuesta, color café a gris amarillo con bolones y trozos de hasta 3"
H-2	1,40 – 1,40+	Roca más sana
Nivel Freático	-	
C12	Km 7,257	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 – 0,5	Capa vegetal
H-2	0,50 – 1,30	Grava arenosa, color café claro, compacidad alta
H-3	1,30 – 1,30 +	Roca color café claro a gris
Nivel Freático	-	No se detectó.
C13	Km 8,040	
Horizonte	Profundidad (m)	**Descripción**
H-1	0,00 - 0,50	Relleno no controlado.
H-2	0,50 - 2,00	Arcilla de color café, humedad media, plasticidad media a baja, consistencia media, estructura de migajón, algo porosa (CL según USCS)
C14	Km 8,040	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 - 0,60	Relleno artificial
H-2	0,60 - 1,10	Arcilla de color negruzco, de humedad media a alta, plasticidad media, consistencia baja y algunas raicillas
H-3	1,10 - 1,15	Lente de grava areno arcillosa. Se encuentra napa freática.
H-4	1,15 - 2,20	Arcilla con gravas y arena media, tamaño máximo de 1,5". Las gravas son de canto redondeados y subredondeados, y la matriz de color café, consistencia baja y plasticidad media.
C15	Km 8,040	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 - 0,30	Relleno artificial
H-2	0,30 - 0,70	Limo arcilloso de color café, humedad media, plasticidad media a baja, consistencia baja, estructura algo porosa, con tonos de oxidación y algunas raicillas.
H-3	0,70 - 1,50	Arena limosa de color café castaño, de humedad media a alta, plasticidad baja, compacidad media, estructura algo porosa con tonos de oxidación y algunas raicillas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.5-2
ESTRATIGRAFÍA DE CALICATAS DE ESTUDIOS ANTERIORES

H-4	1,50 - 1,60	Lente de grava areno arcillosa
H-5	1,60 - 2,40	Limo arcilloso de color café, con humedad de saturación, plasticidad baja, tonos de oxidación y consistencia baja. **Se encuentra napa freática.**
C16	Km 8,040	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 - 0,50	Limo algo arenoso de color café, humedad media, plasticidad baja, consistencia baja a media, algunas raicillas y raíces.
H-2	0,50 - 1,50	Grava arenolimosa de tamaño máximo 10", con bolones y clastos en un 25% aproximadamente. Las gravas son de cantos redondeados y sub-redondeados con tonos de oxidación. Las arenas son finas a media y de color gris. La humedad es la saturación, la plasticidad nula y la compacidad media. **Se encuentra napa freática.**
C17	Km 8,040	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 – 0,25	Capa vegetal
H-2	0,25 - 0,45	Grava arenolimosa, de tamaño máximo 3" con bolones en un 10% aproximadamente. Las gravas son de cantos redondeados y subredondeados de color café claro, humedad baja, compacidad media, estrato pobremente graduado.
H-3	0,45 - 2,50	La grava se torna menos limosa y aumenta el tamaño máximo a 8" (en un 40% aprox). Las gravas siguen siendo de cantos redondeados y la compacidad media.
C18	Km 8,050	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 – 0,8	Capa vegetal
H-2	0,80 – 0,90	Limo areno gravoso, color café claro, consistencia alta.
H-3	0,90 – 2,20	Limo areno arcilloso, color café claro, humedad media, consistencia alta, gravas aisladas.
H-4	2,20 – 2,20+	Grava areno limosa, color café claro, compacidad alta.
Nivel Freático	-	No se detectó.
C19	Km 9,00	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 – 0,50	Suelo removido y erosionado en matriz limo areno gravosa, raicilla y gravas aisladas
H-2	0,50 – 1,40	Limo arenoso color café claro, humedad media, consistencia a ta
H-3	1,40 – 1,40 +	Arena gravosa, color café claro, humedad media, compacidad y grava de cantos angulares, tamaño máximo 2,5" presenta bolones, limo arenoso
Nivel Freático	-	
C20	Km 9,00	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**

CUADRO 3.3.5-2
ESTRATIGRAFÍA DE CALICATAS DE ESTUDIOS ANTERIORES

H-1	0,00 - 0,90	Relleno artificial y derrame de cerro erosionado, de matriz limo arenosa, , color café con abundantes raíces y raicillas
H-2	0,90 - 1,20	Limo arenoso, color café claro, humedad media, consistencia alta
H-3	1,20 - 1,50	grava areno limosa, color café claro, humedad media, compacidad alta, grava de cantos angulares, tamaño máximo 2,5"
H-4	1,50 - 1,50 +	Limo areno arcilloso, color café claro, humedad media, consistencia alta, estructura homogénea
C21	Km 9,00	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 – 0,60	Limo areno gravoso, color café claro, humedad media, consistencia alta, gravas de cantos redondeados, tamaño máximo 3"
H-2	0,60 – 0,60 +	Grava arenosa, color gris, humedad media, compacidad alta, estructura homogénea. Bolones de hasta 10" de tamaño máximo
Nivel Freático	-	No se detectó.
C23	Km 9,9 Aguas Abajo	**Fecha 30/09/95**
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0, 00 - 0,40	Arena grano medio a fino de color café claro, humedad baja, compacidad media, raíces y raicillas, grandes bloques de roca.
H-2	0, 40 - 1, 15	Arena grano medio a fino de color café claro, humedad baja, compacidad media, raíces y raicillas, grandes bloques de roca.
H-3	1, 15 - 1, 85	Arena limosa de color café claro, humedad baja, compacidad alta, grandes bloques de roca
H-4	1, 85 - 2, 00	Arcilla algo arenosa de color café, humedad baja a media, consistencia dura, plasticidad baja, estructura homogénea, grandes bloques de roca
C24	Km 9,9 Aguas Arriba	**Fecha 30/09/95**
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0, 00 - 0, 45	Arcilla arenosa de color café, humedad baja, consistencia dura, plasticidad baja, estructura porosa, raicillas.
H-2	0, 45 - 1, 05	Limo de color café muy claro, humedad baja, consistencia dura, plasticidad baja, estructura algo porosa.
H-3	1, 05 - 2, 00	Arena algo limosa (maicillo) de color café claro, grandes bloques de roca en el interior del pozo.
C25	Km 11,6 Aguas Abajo	**Fecha 01/10/95**
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0, 00 - 0, 45	Capa de suelo vegetal de arena algo limosa de color café claro, humedad baja, compacidad media, raíces y raicillas.
H-2	0, 45 - 1, 45	Arena grano medio con algo de limo y gravas dispersas (clastos de roca) de color café claro, humedad baja, compacidad alta, nidos de arena fina con abundante raicilla.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.5-2
ESTRATIGRAFÍA DE CALICATAS DE ESTUDIOS ANTERIORES

H-3	1, 45 - 2, 00	Arcilla limo arenosa de color café. Humedad media, consistencia dura, plasticidad baja, estructura homogénea.
C26	Km 11,6 Aguas Arriba	**Fecha 01/10/95**
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0, 00 - 0, 85	Arena grano medio con algo de limo color café claro, humedad baja, compacidad alta, finos de baja plasticidad, raíces raicillas y gravas dispersas.
H-2	0, 85 - 1, 35	Roca firme disminuyendo con la pendiente del cerro.
C27	Km 12,00	**Fecha 02/10/95**
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0, 00 - 1, 10	Arcilla arenosa (arena arcillosa) de color café claro con bloques de roca descompuesta (maicillo), humedad baja, consistencia dura, plasticidad baja, estructura algo porosa, raíces y raicillas.
H-2	1, 10 - 3, 00	Arena de grano medio (maicillo, roca descompuesta) de color blanquizco a crema, humedad baja, compacidad alta, lentes de arena algo limosa.
C29	Km 12,3 Dos Pozos	**Fecha 01/10/95**
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0, 00 - 0, 55	Arcilla arenosa de color café, humedad baja, consistencia dura plasticidad baja, estructura porosa, gravas y raíces dispersas.
H-2	+ 0, 55	Roca firme.
C30	Km 12,3 Dos Pozos	**Fecha 01/10/95**
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0, 00 - 0, 30	Arcilla arenosa de color café, humedad baja, consistencia dura, plasticidad baja, estructura porosa, gravas y raíces dispersas.
H-2	+ 0, 30	Roca firme.
C31	Km 12,82	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 – 0,70	**Capa vegetal de matriz, limo arcillosa, color café con gravas y bolones de hasta 12"**
H-2	0,70 – 1,70	Limo areno arcilloso, color café claro, consistencia media, estructura homogénea, con bolones de hasta 10"
H-3	1,40 – 1,40 +	Limo areno arcillo gravoso, color café claro, humedad media, consistencia alta, estructura homogénea, con gravas de hasta 1,5" tamaño máximo
C32	Km 13,300	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 – 0,8	Derrame cerro
H-2	0,80 – 1,50	Limo areno gravoso, color café claro, consistencia alta

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.5-2
ESTRATIGRAFÍA DE CALICATAS DE ESTUDIOS ANTERIORES

H-3	1,50 – 1,50+	Arena limo gravosa, color café claro, compacidad alta
Nivel Freático	-	No se detectó.
C33	Km 13,98	**Fecha 02/10/95**
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0, 00 - 1, 15	Arcillosa (tosca) color café algo claro, humedad baja, compacidad alta a muy alta con la profundidad, raíces dispersas.
H-2	+ 1, 15	Tosca muy dura. Probable roca. No se pudo seguir excavando con chuzo.
C34	Km 15,12	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0,00 – 0,75	Derrame de material de cerro, suelto, erosionado y removido en matriz limo areno arcillosa, con raíces, raicillas, gravas y bolones de hasta 4"
H-2	0,75 – 0,75 +	Estratificaciones de suelos finos limo arenoso y arena fina limosa, color café, de consistencia y compacidad media a alta, estructura homogénea, con gravas y bolones de 3" y 6" de tamaño máximo respectivamente.
Nivel Freático	-	No se detectó.
C35	Km 15,165	**Fecha 02/10/95**
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0, 00 - 0, 75	Arena limosa (lomo arenoso) de color café, humedad media, compacidad alta, raíces y raicillas.
H-2	0, 75 - 2, 20	Limo arenoso de color café, humedad media, consistencia dura, plasticidad baja, estructura de migajón, raíces y raicillas.
C36	**Km 16,30**	**Fecha 03/10/95**
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0, 00 - 0, 50	Arena de grano a fino de color café claro, humedad baja, compacidad media, raicillas.
H-2	0, 50 - 1, 00	Arena fina de color plomiza, humedad media, compacidad alta, bloques de roca de cantos angulosos y tamaño máximo 12".
H-3	1, 00 - 2, 00	Arena grano medio a grueso (maicillo) de color café claro, humedad baja, compacidad media, bloques de roca angulosos.
H-4	2, 00 - 2, 30	Arena fina con algo de limo de color café, humedad media, compacidad alta, bloques de roca angulosos raicillas dispersas.
C37	Km 17,75	**Fecha 03/10/95**
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**
H-1	0, 00 - 0, 70	Arcilla arenosa de color café algo claro, humedad baja, consistencia dura, plasticidad baja, estructura porosa, raíces y raicillas, gravas dispersas de cantos angulosos.
H-2	0, 70 - 2, 90	Limo arenoso con grava y bloques de roca de cantos angulosos de color café algo claro, humedad baja, consistencia dura, plasticidad baja, estructura algo porosa.
C39	Km 19,2	
Horizonte	**Profundidad (m)**	**Descripción**

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.5-2
ESTRATIGRAFÍA DE CALICATAS DE ESTUDIOS ANTERIORES

H-1	0,40 a 1,60	Derrame del cerro, removido y erosionado, limo arenoso y arena limo, color café claro
H-2	0,40 – 1,20	Arena limosa, color café, humedad media, compacidad media a estructura homogénea (maicillo)
H-3	indefinido	Roca descompuesta, maicillo, arena de granos medios, color café claro amarillo, compacidad alta, estructura homogénea, gravas de cantos angulares tamaño máximo 2,5"
Nivel Freático	-	No se detectó.

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 3-1 se presentan todos los resultados de laboratorio de los ensayos realizados a las muestras extraídas de dichos pozos.

En general, las muestras clasificaron según el sistema USCS, como SM (arena limosa), GP-GM (grava limosa uniforme), CL (arcilla de baja plasticidad) y ML (limo de baja plasticidad).

El emplazamiento de los pozos fue determinado de forma tal, que permitiera obtener información respecto de los sectores que presentaban algún tipo de problema o donde se preveía podrían ocurrir, a raíz de los cortes proyectados.

El resumen de los resultados de la campaña de ensayes de los pozos excavados en los costados del canal Catemu Alto (Km 9,00 al 17,750) por Procivil (año 1995), se entrega a continuación:

- Cuatro muestras clasificaron como arenas arcillosas o limosas, cuatro muestras más clasificaron como arcillas o limos algo arenosos y una como grava algo limosa. Se observa que el porcentaje de finos para los materiales finos varía del 51 al 84% y en los materiales granulares, del 3 al 39%. Dos de las calicatas alcanzaron la interfaz suelo roca que se encuentra relativamente superficial. La Calicata C29, ubicada en el sitio de la boca del túnel proyectado, alcanza roca a los 1,15 m de profundidad.
- Respecto de las permeabilidades, se puede adoptar $k=10^{-4}$ cm/s para suelos finos y $k=10^{-3}$ cm/s para suelos granulares.
- Los ensayos triaxiales mostraron un limo muy arenoso (51% finos) con un ángulo de fricción de 32° y una cohesión de 2,3 t/m^2.

El resumen del resto de los resultados de los ensayos realizados por Electrowatt (año 1996), se lista en seguida:

- Todas las muestras obtenidas fueron sometidas a clasificación USCS (límites de Atteberg, granulometría, humedad natural y peso específico). De los datos recopilados, se tiene que 8 muestras clasificaron como arenas arcillosas o limosas, 6 más clasificaron como arenas con muy poco fino, 8 muestras clasificaron como arcillas o limos arenosos y 4 muestras más como grava algo limosa o arcillosa. Se observa que el porcentaje de finos para los materiales finos varía del 59 al 87% y en los materiales granulares, del 1 al 30%. 9 de las calicatas alcanzaron la interfaz suelo-roca (maicillo) que se encuentra relativamente superficial. En las calicatas ubicadas en los Km 5,69 y 7,257, ubicados en la Descarga Vega y en uno de los puentes proyectados para el canal El Alto, respectivamente, se alcanza roca a los 1,3 m de profundidad aprox. También se encontró roca en la calicata ubicada antes del atravieso de Camino Catemu – Santa Isabel.
- Respecto de las permeabilidades medidas en los Km 5,45, 12,0 y 18,7, se puede adoptar $k=10^{-4}$ cm/s para suelos gravosos.
- Los ensayos triaxiales CIU se realizaron a dos muestras remoldeadas a la densidad natural, en el sector de ensanches. Se detectaron suelos limosos muy arenosos con un ángulo de fricción de 26° y una cohesión de 2,3 ton/m2, y suelos arenosos de ángulo de fricción de 32° y una cohesión de 1,3 ton/m2, según lo indica el informe de Electrowatt.

3.3.6. Descripción de Prospecciones Realizadas en este Estudio

3.3.6.1. Calicatas en el Trazado del Canal

Se ejecutaron 18 calicatas a lo largo del eje de las obras proyectadas, el resumen de las características de la calicata y la descripción del suelo se muestran a continuación en el Cuadro 3.3.6.1-1.

CUADRO 3.3.6.1-1
DETALLE DE LAS CALICATAS EJECUTADAS EN ESTE ESTUDIO

N°	Este	Norte	Profundidad (m)	Estratigrafía	Clasificación
C1-N	317.136	6.372.359	5	si	SW-SM
C2-N	317.046	6.372.400	2	si	CL GM-GC
C3-N	316.946	6.372.488	1,8	si	ML CL-ML
C4-N	316.668	6.372.551	1,9	si	CL
C5-N	316.273	6.372.637	1,8	si	ML
C6-N	315.994	6.372.698	2,5	si	CL-ML
C7-N	315.887	6.372.931	3,5	si	ML -SM

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Nº	Este	Norte	Profundidad (m)	Estratigrafía	Clasificación
C8-N	317.287	6.372.163	3,8	si	ML
C9-N	317.367	6.372.133	4	si	SM
C10-N	317.427	6.372.011	3,5	si	CL-ML
C11-N	317.265	6.371.485	4	si	CL -CH
C12-N	317.283	6.370.962	2,1	si	ML-MH
C13-N	317.269	6.370.539	2	si	GP-GM
C14-N	317.251	6.370.141	1,7	si	GP-GM
C15-N	317.276	6.369.687	2	si	GP
C16-N	321.490	6.372.084	4	si	CL
C17-N	322.036	6.372.631	4	si	ML-CL
C18-N	327.608	6.373.515	3,2	si	GW-GM

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de estas nuevas prospecciones muestran características similares a las obtenidas en los ensayos existentes de estudios anteriores.

En el Anexo 3-1 se presentan todos los resultados de laboratorio de los ensayos realizados a las muestras extraídas de dichos pozos.

3.3.6.2. Calicatas para Empréstito (en Sector Bocatoma)

Para esta consultoría se excavaron 2 pozos para empréstito cercanos a la bocatoma, cuyos resultados de laboratorio se presentan en el Anexo 3-2, los que contienen 2 clasificaciones USCS completas (incluye: granulometría, límites de consistencia, densidad de partículas sólidas, clasificación USCS y humedad natural). Las muestras corresponden a GW y GP, gravas arenosas bien o mal graduadas. La estratigrafía en tanto, otorga a los estratos fluviales compacidades altas, tamaño máximo de gravas de 2 ½" y para bolones de 12". El porcentaje de finos detectado fue menor que 2%.

3.3.7. Exploración Geofísica

3.3.7.1. Descripción de los Trabajos

Las exploraciones se realizaron en lugares de interés de forma de conocer las características geotécnicas de los materiales para el posible emplazamiento de minicentrales hidroeléctricas, correspondientes a lugares definidos en la etapa de evaluación de alternativas. Para ello se usó el método sísmico de refracción, con una disposición de 10 perfiles sísmicos de 75 m cada uno. Su ubicación se encuentra en la Figura 3.3.4-1. En el Anexo 3-3 se adjunta un informe de exploración geofísica en detalle.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.3.7.2. Presentación de Resultados

En el Cuadro 3.3.7.2-1 se presenta un resumen de las velocidades de la onda de corte obtenidas, y del módulo de corte dinámico, de acuerdo a la velocidad compresional obtenida, para cada perfil realizado, Lo anterior para cada estrato de suelo, junto con el espesor sismo-estratigráfico que le corresponde.

CUADRO 3.3.7.2-1
VELOCIDAD ONDA DE CORTE Y MÓDULO DE CORTE DINÁMICO PARA PEQUEÑAS DEFORMACIONES

Perfil	E~1^{er}est. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Gmax (t/m^2)	E~2^{do}est. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Gmax (t/m^2)	Prof~3^{do}est. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Gmax (t/m^2)
1	2 - 4	515	275	14.677	11 - 14	1.250	765	119.457	> 13 - 18	2.540	1.555	567.228
2	4	430	230	10.232	11 - 12	615	355	24.418	>15 - 16	1.900	1.164	317.393
3	2	440	235	10.713	9 - 16	625	361	25.219	> 11 - 18	1.530	937	196.865
4	2 - 3	430	230	10.232	11 - 19	680	393	29.853	>14 - 21	1.730	1.059	263.137
5	2 - 6	450	241	11.206	6 - 15	1.400	857	157.339	> 12 - 17	2.500	1.531	549.503
6	3 - 4	515	275	14.677	8 - 9	1.340	821	144.142	>11 - 13	1.900	1.164	317.393
7	2	430	230	10.232	15 - 17	1.110	680	89.487	> 17 - 19	2.200	1.347	425.535
8	1 - 5	365	195	7.372	12 - 14	710	435	36.613	>13 - 19	3.120	1.911	855.853
9	2 - 10	621	359	24.897	5 - 12	1.000	612	72.630	> 15 - 14	2.500	1.531	549.503
10	5 - 7	430	230	10.232	8 - 16	1.300	796	135.665	>15 - 21	2.350	1.439	485.541

E : Espesor del estrato
Vp : Velocidad de onda de corte P
Vs : Velocidad de onda S
Gmax : Módulo dinámico

Fuente: Elaboración propia

El espesor estimado para el tercer estrato se estimó considerando que la medición de la onda de compresional alcanza profundidades entre un medio y un tercio del largo del tendido.

En general, el primer estrato corresponde a suelos del tipo arcilloso, arenoso o a la mezcla de ambos, para todos los perfiles analizados. Las velocidades encontradas serían coherentes con la estratigrafía.

El segundo estrato en tanto, presenta básicamente 2 tipos de materiales asociados a cada velocidad, es decir, para los perfiles 2, 3, 4 y 8, lo más probable es que se trate de suelo con tamaño de partícula mayor que la del primer tramo. Los perfiles 1, 5, 6, 7, 9 y 10 muestran velocidades que bien podrían indicar un suelo gravoso o de roca muy meteorizada.

En el tercer estrato es posible distinguir también 2 situaciones, una

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

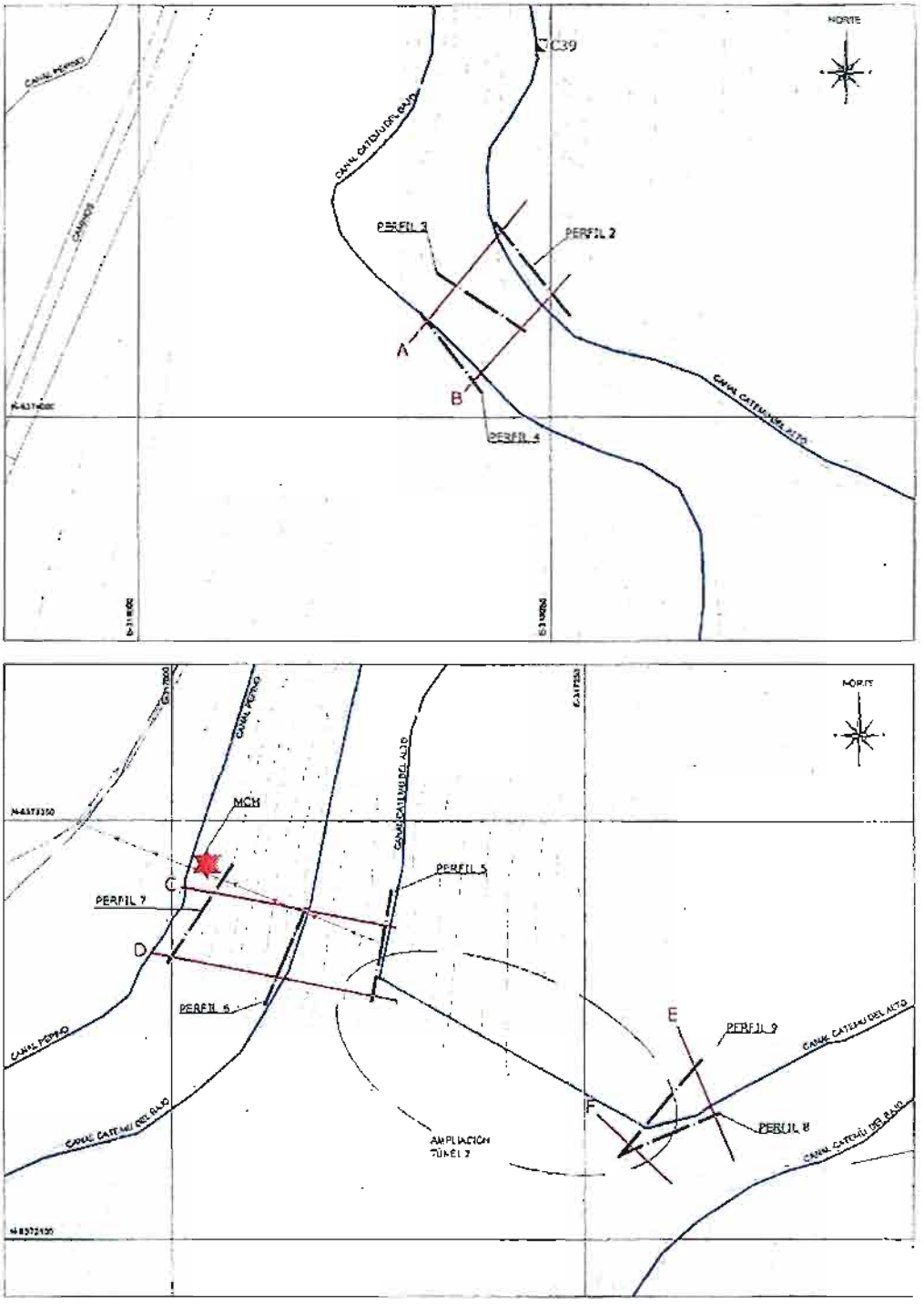
correspondiente al perfil 8, que indicaría la presencia de roca sana, y el resto, que se asocia a roca meteorizada y/o fracturada.

Como resumen, gran parte de las áreas estudiadas presentan velocidades correspondientes a rocas con diversos grados de meteorización, a partir de una profundidad aproximada de 8 m de profundidad. Antes de aquellas, el suelo detectado corresponce a material limoso, arenoso y gravoso, aumentando el tamaño de partícula en profundidad La roca meteorizada a fracturada debiera encontrarse a partir de 15 m de profundidad en los perfiles 1, 5, 7, 9 y 10.

Debido a que los perfiles geofísicos 2 al 9 se realizaron en dirección perpendicular a los trazados de interés, en la Figura 3.3.7.2-1 se presenta una planta de la ubicación de los perfiles transversales entre los perfiles geofísicos que representan cada sector de interés, y en las Figuras 3.3.7.2-2 a 3.3.7.2-4 se agrega además una sismo estratigrafía de velocidades de onda compresional para los distintos perfiles transversales trazados entre los perfiles geosísmicos. Las mediciones se proyectaron para alcanzar profundidades aproximadas de 30 m.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

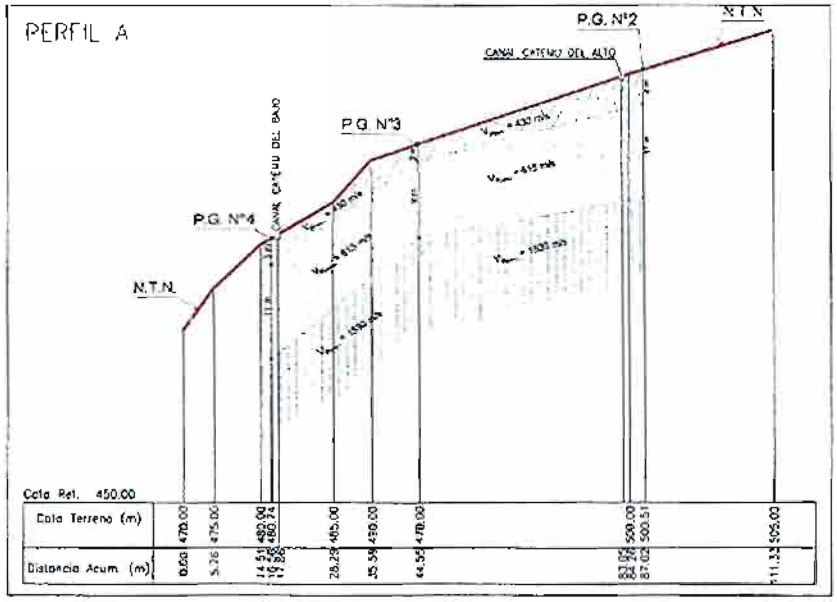
FIGURA 3.3.7.2-1
UBICACIÓN DE PERFILES TRANSVERESALES A, B, C, D, E Y F

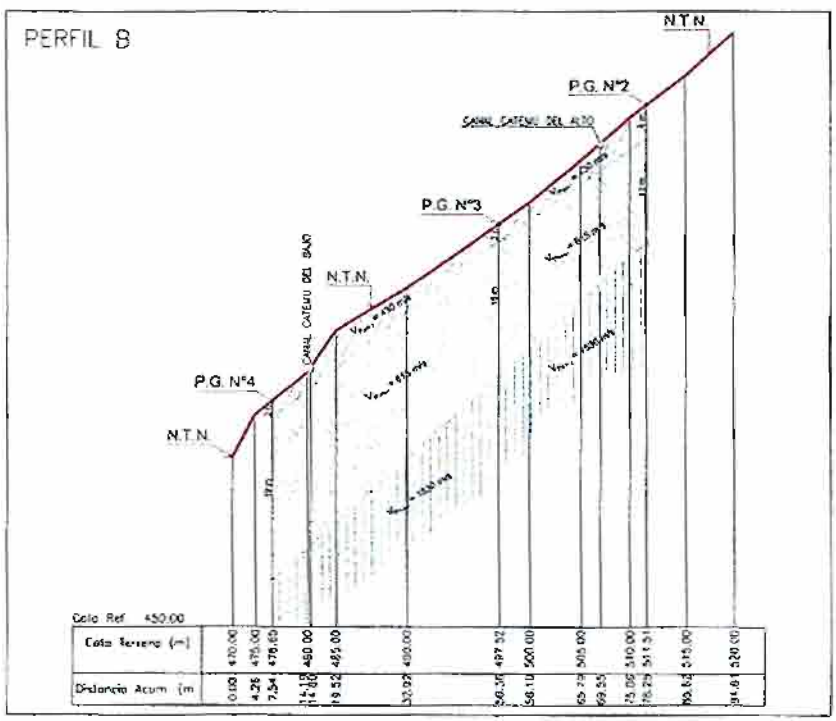


Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

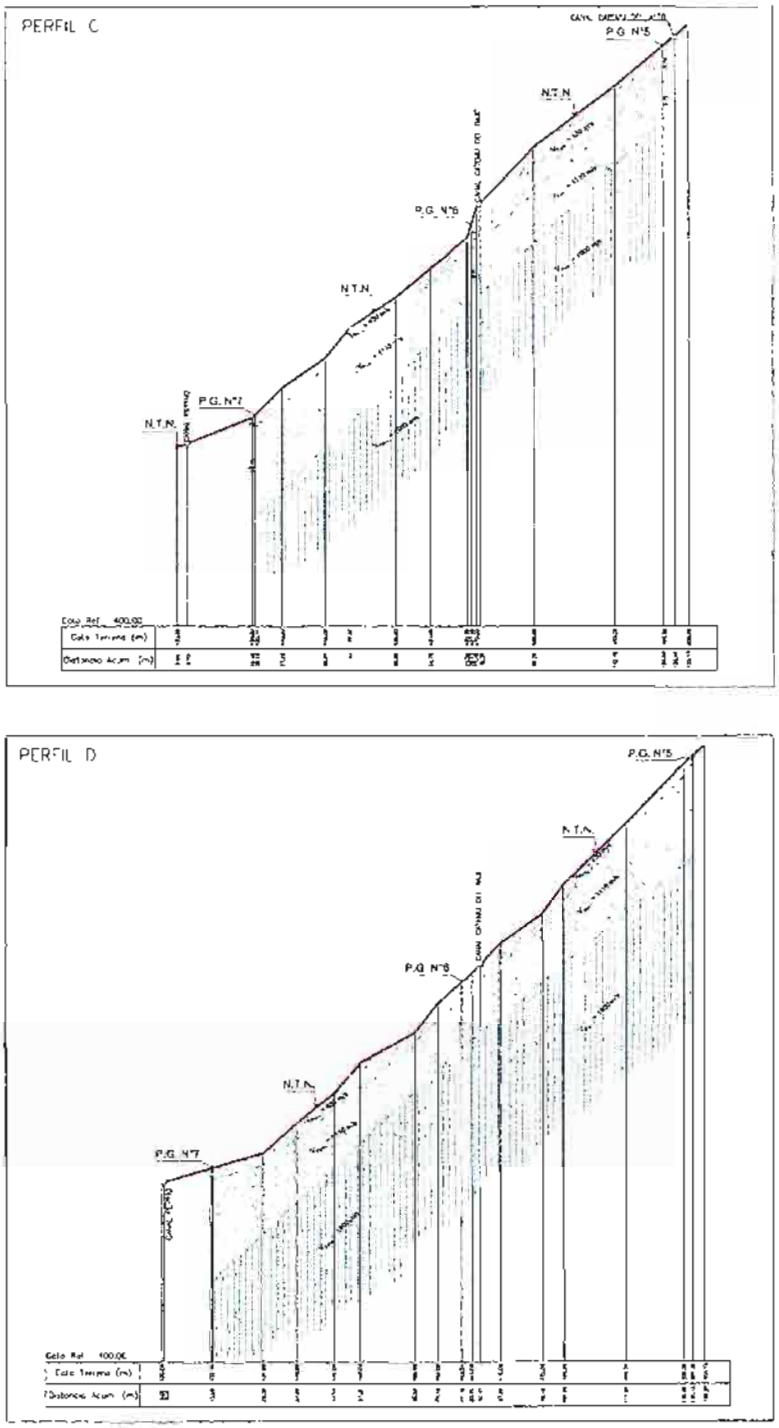
FIGURA 3.3.7.2-2
VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS (Vp(m/s))
PERFILES TRANSVERSALES A Y B





Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.3.7.2-3
VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS (Vp (m/s))
PERFILES TRANSVERSALES C Y D

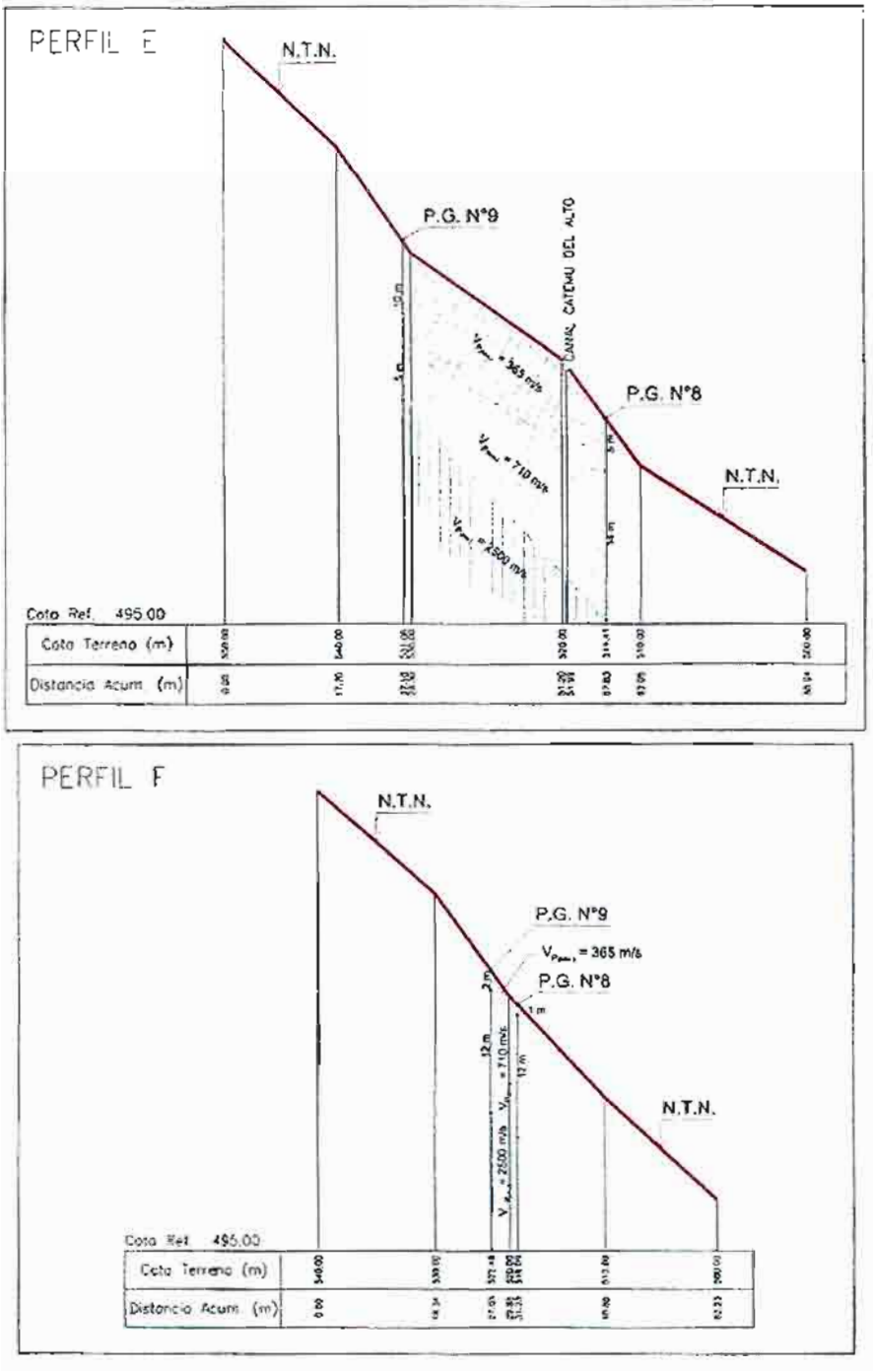


Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.3.7.2-4

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS (Vp(m/s))
PERFILES TRANSVERSALES E Y F



Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4691 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

3.3.8. Sondajes en Bocatoma

En el Anexo 3-4 se presentan los resultados estratigráficos de 2 sondajes ejecutados en octubre de 2011, ubicados en el sector de la bocatoma, específicamente en las coordenadas UTM Datum WGS84 que se especifican en el Cuadro 3.3.8-1. Además se incluyen fotografías de las cajas testigueras.

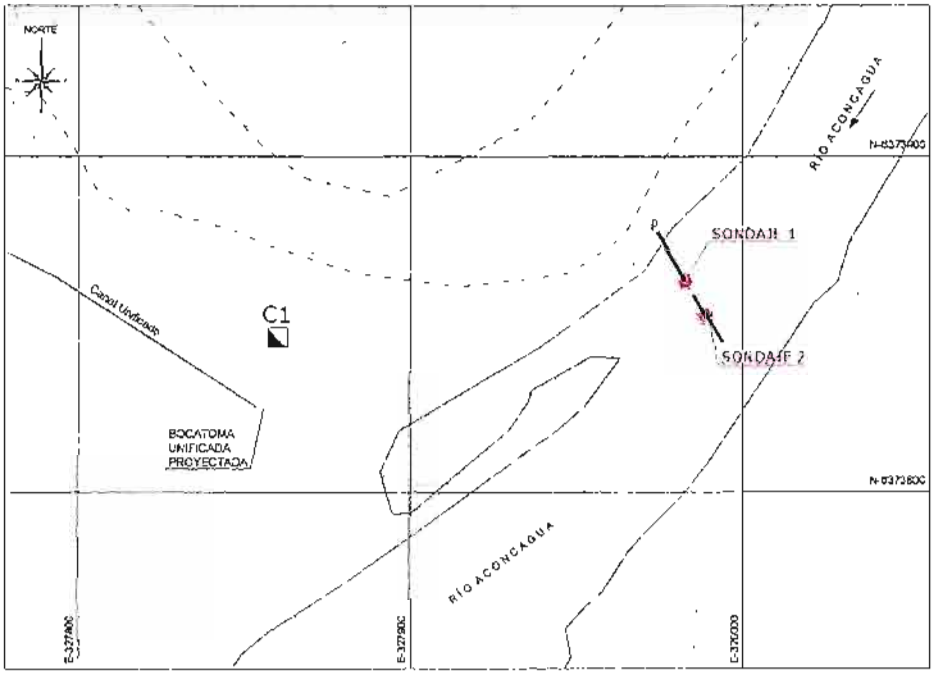
En la Figura 3.3.8-1 presenta el emplazamiento de los sondajes y la Figura 3.3.8-2 un perfil con las columnas estratigráficas de los sondajes.

CUADRO 3.3.8-1
UBICACIÓN DE SONDAJES REALIZADOS EN SECTOR DE BOCATOMA

Sondaje	Coord. UTM Datum WGS84, uso 19	
	Norte (m)	Este (m)
1	6.373.853	327.989
2	6.373.863	327.983

Fuente: Elaboración propia

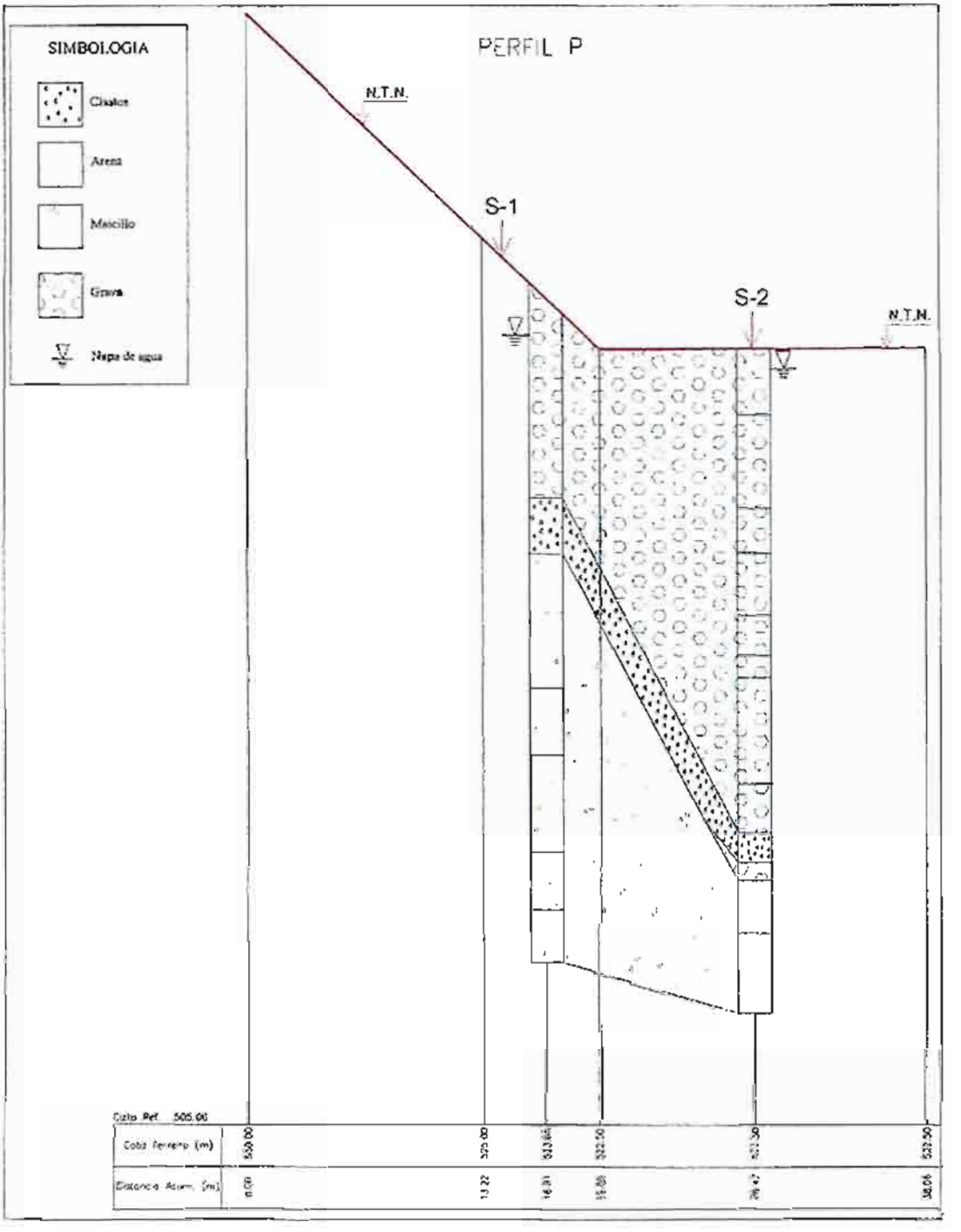
FIGURA 3.3.8-1
UBICACIÓN DE SONDAJES DE EXPLORACIÓN



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.3.8-2
PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE SONDAJES



Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.3.9. Modelo Estratigráfico de Sectores Relevantes

De acuerdo con la exploración realizada en todo el terreno estudiado, se presentan a continuación cuadros con as estratigrafías detalladas de las zonas de importancia para el proyecto, que pueden describirse de la siguiente manera:

CUADRO 3.3.9-1
MODELO ESTRATIGRÁFICOSECTOR BOCATOMA
(POZOS C1, VISITATERRENO AÑO 1995, SONDAJES AÑO 2011)

Horizonte	Observaciones	Descripción
H-1	Espesor variable: 4,5 m en el sondaje 1 10,9 m en el sondaje 2.	Grava arenosa de color gris, compacidad mediana a alta con la profundidad, cantos redondeados y subredondeados, tamaño máximo 5". Lentes de arena, saturada.
H-2	Espesor aprox.: 1,0 m	Clastos de roca granítica, de tamaño máximo 49", color gris claro, textura suave, dureza alta, pigmentación de calco pirita, saturada.
H-3	Se detectó hasta el final de lo explorado, es decir 15,0 m	Maicillo granítico, color gris amarillento, cementación media a alta con la profundidad, saturado, apreciable porcentaje de granos cuarzosos, calco pirita y mica.

Obs: la napa se encuentra a 0,5 m de profundidad aproximadamente.
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.3.9-2
MODELO ESTRATIGRÁFICO
CANAL ARRIBA DE CATEMU. DESDE BOCATOMA A KM 13,700
(POZOS C2 AL C8, C10 AL C12, C18, C22 AL C32, PERFIL 10)

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 0,70	Capa de suelo vegetal y relleno artificial de arenas y gravas.
H-2	0,70 – 2,00	Arena limo arcillosa y/o limoarcilloarenoso de color café claro y gris, compacidad mediana y alta, humedad media, algunas gravas aisladas y clastos.
H-3	2,00 – 2,20	Grava areno limosa de color café claro y gris, compacidad alta.

Obs 1: En el pozo 10 se detecta material de pie de monte formado por arcilla limosa, bolones y bloques.
Obs 2: En los pozos 11 y 12 se detecta roca a 1,3 m de profundidad aprox.
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.9-3
MODELO ESTRATIGRÁFICO
PORTAL DE ENTRADA Y SALIDA DEL TÚNEL 1
(POZOS C8, C9, C10 Y C11, PERFIL 1)

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 0,80	Material superficial de derrame de cerro, arcilla limosa.
H-2	0,80 – 1,40	Bolones, bloques y trozos de roca en matriz arcillosa.

Obs: En un sector ubicado antes del atravieso del Camino Catemu-Santa Isabel, se detecta roca sana superficial, a 1,4 m de profundidad.
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.3.9-4
MODELO ESTRATIGRÁFICO DESCARGA VEGA
(POZOS C10 Y C11, PERFIL 1)

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 0,80	Material superficial de derrame de cerro, arcilla limosa.
H-2	0,80 – 1,40	Bolones, bloques y trozos de roca en matriz arcillosa.

Obs: En un sector ubicado antes del atravieso del Camino Catemu-Santa Isabel, se detecta roca sana superficial, a 1,4 m de profundidad.
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.3.9-5
MODELO ESTRATIGRÁFICO DESCARGA REINOSO
(POZOS C19 AL C21)

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 0,50	Capa de suelo vegetal y relleno artificial de arena gravosa. Raicillas.
H-2	0,50 – 3,00	Limo arenoso y/o arena gravosa de color café claro, compacidad alta, humedad media, gravas de tamaño máximo 2.5", bolones.

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.9-6
MODELO ESTRATIGRÁFICO CANAL ARRIBA DE CATEMU.
DESDE KM 13.700 A KM 17.500(POZOS C33 AL C37)

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 1,10	Derrame de cerro, suelto, de matriz limo areno gravosa, bolones 4". Raíces y raicillas.
H-2	1,10 – 2,90	Arena limo arcillosa y/o limoarcilloarenoso de color café, compacidad mediana a alta, gravas de máximo 3", bolones de máximo 6" y bloques de roca de roca.

Obs: En el pozo 33 se detecta roca (tosca) a 1,15 m de profundidad.
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.3.9-7
MODELO ESTRATIGRÁFICO PORTAL ENTRADA Y SALIDA DEL TÚNEL 2
(POZOS C35 Y C36, PERFILES 5, 6, 7, 8 Y 9)

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 1,50	Arena limosa y limo arenoso, color café claro y gris, compacidad alta, finos de plasticidad baja, humedad media. Raíces y raicillas. Lentes de arena gruesa gris.
H-2	1,50 – 2,30	Arena arcillosa y/o arcilla limo arenosa de color café, compacidad mediana a alta, bloques de roca.

Obs 1: Los perfiles geofísicos 5, 6 y 7 indican la existencia de suelos finos o granulares con mucho fino hasta aprox. 4,0 m de profundidad, subyacidos por probablemente roca muy meteorizada hasta 15 m. De ahí en adelante las velocidades indican la presencia de roca fracturada.

Obs 2: Los perfiles geofisicos 8 y 9 indican la existencia de suelos finos o granulares semicompactos hasta aprox. 4,0 m de profundidad, subyacidos por suelo algo más compacto y tal vez más granular. Apartir de los 15 m la roca se detecta fracturada a sana.

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.9-8
MODELO ESTRATIGRÁFICO MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA (MCH)
(POZO C36, PERFILES 5, 6 Y 7)

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 0,50	Arena fina de color café claro, compacidad media, humedad baja a media, raicillas.
H-2	0,50 – 1,00	Arena fina de color gris, compacidad alta, humedad media, bloques de roca de tamaño máximo 12".
H-3	1,00 – 2,00	Arena de grano medio de color café claro, compacidad media, humedad baja, bloques de roca.
H-4	2,00 – 2,20	Arena fina algo limosa de color café, compacidad alta, humedad media, bloques de roca.

Obs: Los perfiles geofísicos 5, 6 y 7 indican la existencia de suelos finos o granulares con mucho fino hasta aprox. 4,0 m de profundidad, subyacidos por probablemente roca muy meteorizada hasta 15 m. De ahí en adelante las velocidades indican la presencia de roca fracturada.
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.3.9-9
MODELO ESTRATIGRÁFICO CANAL DE RESTITUCIÓN
(POZO C13, C14, C15, C16 Y C36)

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 0,50	Relleno artificial.
H-2	0,50 – 0,90	Arcilla y/o limo arcilloso, color café, humedad media a alta, consistencia blanda a mediana, plasticidad media, raicillas.
H-3	0,90 – 2,40	Arena fina a media con gravas, color gris, finos de baja plasticidad, compacidad media, humedad baja y saturada bajo napa en algunos sectores. Lentes de gravas areno arcillosas.

Obs1: Los pozos 13 a 16 se usaron sólo para efectos de definir el tipo de **suelo típico** del cono de deyección intergigitado con los rellenos granulares fluviales. Se tiene conciencia que no se ubican en el lugar definido.
Obs 2: Hacia el pozo 16, el suelo del tercer estrato tiende a estar compuesto por mayor cantidad de gravas arenosas.
Obs3: La napa de infiltración del agua de los canales se detectó en los pozos 14, 15 y 16 a 1,1; 1,6 y 0,8 m, respectivamente.
Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.9-10
MODELO ESTRATIGRÁFICO AGUAS ABAJO DE KM 17.500
(POZOS C37, C38 Y C39, PERFILES 2, 3 Y 4)

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0,00 – 1,60	Limo arenoso (arena limosa) de consistencia media, color café claro.
H-2	1,60 – 2,90	Arena limo arcillosa (limo arenoso) de color café, compacidad alta, humedad baja, con gravas y bloques de roca.

Obs: Los perfiles geofísicos indican la existencia de suelo fino de consistencia media o granular medianamente compacto hasta aprox. 3,0 m de profundidad, subyacidos por probablemente suelos algo más compactos, pero con bastante cantidad de finos, bajo los cuales se encontraría roca muy meteorizada a partir de los 15,0 m.
Fuente: Elaboración propia

3.3.10. Propiedades mecánicas de los Suelos de Fundación

De los resultados de la exploración, de los ensayes de laboratorio y de propiedades medidas en suelos de similares características granulométricas, propiedades índices y origen geológico, se han determinado y adoptado las siguientes propiedades mecánicas del suelo de fundación descrito en la modelación estratigráfica:

Grava arenosa (Bocatoma: estrato H-1 y H-2; **Canal arriba de Catemu hasta Km 13,700**: estrato H-3)

ϕ =	40°	ángulo de fricción interna
c =	0,0 t/m^2	cohesión
γ =	2,2 t/m^3	peso unitario natural
γ_b =	1,2 t/m^3	peso unitario boyante
E =	$4000\sqrt{z}$ t/m^2	módulo de Young si z es la profundidad en m
E_d =	3 E	módulo de Young para cargas cíclicas
μ =	0,2	razón de Poisson

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago. Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Maicillo granítico (**Bocatoma**: estrato H-3)

ϕ =	36°	ángulo de fricción interna
c =	1,0 t/m^2	cohesión
γ =	1,8 t/m^3	peso unitario natural
γ_b =	0,9 t/m^3	peso unitario boyante
E =	2000$\sqrt{z}$ t/m^2	módulo de Young si z es la profundidad en m
E_d =	3 E	módulo de Young para cargas cíclicas
μ =	0,3	razón de Poisson.

Arena arcillosa y/o limo arcillo arenoso con gravas (**Descarga Reinoso**: estrato H-2; **Canal arriba de Catemu Km 13,700 a Km 17,500**: estrato H-1; **Portal entrada y salida del túnel 2**: estrato H-2; **MCH**: estratos H-2, H-3 y H-4; **Canal de Restitución**: estrato H-3)

ϕ =	30°	ángulo de fricción interna
c =	2,3 t/m^2	cohesión
γ =	1,8 t/m^3	peso unitario natural
γ_b =	0,9 t/m^3	peso unitario boyante
E =	1500$\sqrt{z}$ t/m^2	módulo de Young si z es la profundidad en m
E_d =	3 E	módulo de Young para cargas cíclicas
μ =	0,30	razón de Poisson

Arcilla con bolones, bloques y trozos de roca (**Portal entrada y salida del túnel 1**: estrato H-2; **Descarga Vega**: estrato H-2; **Canal arriba de Catemu Km 13,700 a Km 17,500**: estrato H-2; **Aguas abajo de Km 17,500**: estrato H-2)

ϕ =	26°	ángulo de fricción interna
c =	1,5 t/m^2	cohesión

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

γ =	1,9 t/m^3	peso unitario natural
γ_b =	0,95 t/m^3	peso unitario boyante
E =	400+600 z t/m^2	módulo de Young si z es la profundidad en m
E_d =	3 E	módulo de Young para cargas ciclicas
μ =	0,35	razón de Poisson

Arena limo arcillosa y/o limo arcillo arenoso (Canal arriba de Catemu hasta Km 13,700: estrato H-2; **Portal entrada y salida del túnel 1**: estrato H-1; **Descarga Vega**: estrato H-1; **Portal entrada y salida del túnel 2**: estrato H-1; **MCH**: estrato H-1; **Canal de Restitución**: estrato H-2; **Aguas abajo de Km 17,500**: estrato H-1)

ϕ =	23°	ángulo de fricción interna
c =	1,0 t/m^2	cohesión
γ =	1,8 t/m^3	peso unitario natural
γ_b =	0,9 t/m^3	peso unitario boyante
E =	400 + 500 z t/m^2	módulo de Young si z es la profundidad en m
E_d =	3 E	módulo de Young para cargas cíclicas
μ =	0,35	razón de Poisson

Para el análisis de estabilidad de taludes se zonificó la ladera del cerro en 2 sectores, los de suelo areno arcilloso o arcillo arenoso (entre bocatoma y Km 13,7 y desde Km 17,5 en adelante) y los de maicillo (Km13,7 al Km 17,5, sector Puntilla de Máquinas).

Arena arcillosa (Bocatoma al Km 13,7 y Km 17,5 en adelante)

ϕ =	35°	ángulo de fricción interna
c =	2,2 t/m^2	cohesión
γ =	1,8 t/m^3	peso unitario natural

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Maicillo (Km13,7 al Km 17,5, Sector Puntilla de Máquinas)

ϕ =	36°	ángulo de fricción interna
c =	1,0 t/m^2	cohesión
γ =	1,8 t/m^3	peso unitario natural

3.3.11. Diagnóstico de Problemas Geotécnicos

De la información geológica, de la estratigrafía de las calicatas y de los resultados de las velocidades de onda de corte, se puede establecer que el primer estrato corresponde a:

- Suelo arcilloso con gravas de consistencia media, característico del derrame de cerro de poca antigüedad, o
- Maicillo, de buen comportamiento resistente, pero erosionable al ser parte constituyente de taludes.

En otras palabras, existe efectivamente una caída de material moderada a abrupta, dependiendo de básicamente 2 factores; la inclinación del talud y el emplazamiento dentro de una zona de quebrada. Se detectan 2 problemas asociados a los factores antes mencionados:

- **Inestabilidad de las Laderas de los Cerros**

  Tiene relación con la seguridad de riego para los más de 1.000 agricultores de la zona agrícola de la comuna de Catemu y principalmente de los habitantes de Catemu. Según el proyecto Túnel Salesianos desarrollado para la Ley de Riego (1987) este problema es creciente en el Sector Puntilla de Máquinas (frente a la localidad de Catemu), donde se producen derrumbes que obstruyen los canales interrumpiendo el suministro de agua de regadío con reparaciones cada vez más caras y difíciles.

  La inestabilidad de taludes se debe a taludes muy inclinados, a su intensa meteorización, los surcos y cárcavas producto de las lluvias y la falta de vegetación. El fenómeno es evaluado en el informe geológico como una "descomposición orbicular con deslizamientos del tipo reptación". Con la información del estudio geológico-geotécnico, se puede aseverar que *el riesgo de colapso de los Canales Arriba y Abajo de Catemu en el Sector Puntilla Las Máquinas es altísimo,* con fuertes daños a propiedades públicas y privadas, lo que justifica el desarrollo del proyecto del Túnel Salesianos, quedando fuera de servicio los canales en el sector Puntilla Las Máquinas.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Embancamiento y Desbordes de los Canales**

  Las laderas sobre los cauces de los canales están conformadas por maicillos y suelo de baja cohesión, lo que junto al exceso de humedad provoca la desestabilización de los taludes y laderas. Lo anterior produce el planchoneo o desplome de su ribera izquierda (donde se han revestido solo algunas secciones o muros de tal ribera), generándose así el embancamiento que suele derivar en rebalses de los canales con la consiguiente rotura del borde, poniendo en riesgo la propiedad agrícola y urbana del pueblo de Catemu.

  Por otro lado el canal Arriba de Catemu funciona como barrera de protección de aguas lluvias para el canal Abajo de Catemu y Pepino, las que ingresan por las quebradas hacia el canal, ensuciando la sección y aumentando el riesgo de desborde.

3.3.12. Capacidad de Soporte de Fundaciones

3.3.12.1. Sector Bocatoma

Los tipos de fundación posibles para las estructuras proyectadas son:

- **Cimientos corridos y zapatas aisladas:**

  Esta solución se usará en lugares donde no sea necesario soportar niveles de subpresión muy altos. El ancho mínimo para cimientos corridos será de 0,5 m y para zapatas aisladas será de 1,0 m. La profundidad mínima de enterramiento de las fundaciones será de 1,0 m bajo el nivel máximo de socavación. Para la ejecución de fundaciones será necesario el desvío del agua y el agotamiento de napa.

- **Losa de fundación:**

  La losa de fundación será de hormigón armado con un área en planta por lo menos igual a la planta del conjunto de estructuras, con un espesor no inferior a 0,2 m. El cálculo estructural definirá el espesor final de la losa. La profundidad mínima de enterramiento de la losa será de 1,0 m bajo el nivel máximo de socavación. Para la ejecución de fundaciones será necesario el desvío del agua y el agotamiento de napa.

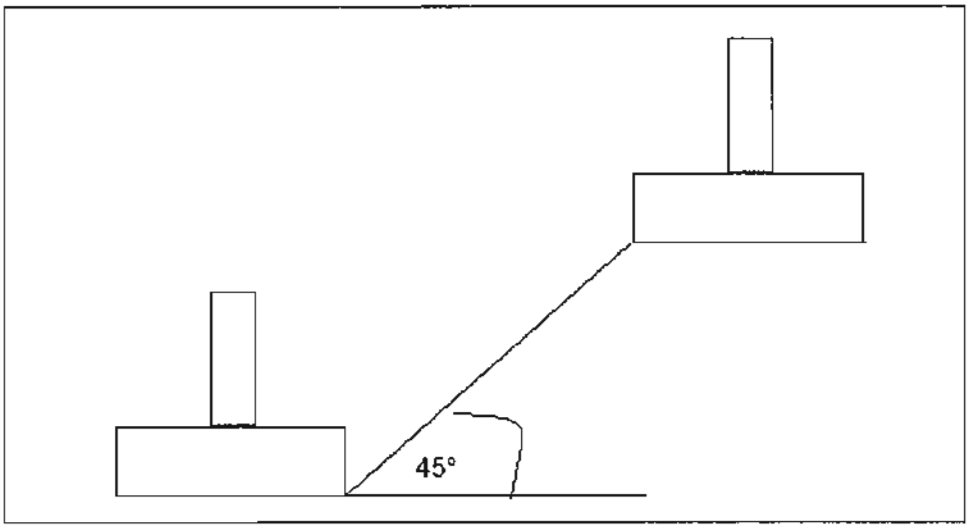
Es importante mencionar que dado que la estratigrafía indica un espesor variable del primer estrato, es probable que algunas estructuras queden fundadas en grava y otras en maicillo. Una misma estructura deberá quedar fundada en un mismo tipo de suelo.

Las fundaciones de las estructuras deberán quedar por debajo del plano de seguridad que está determinado por un plano inclinado que sube en un ángulo de aproximadamente 45° desde el sello de una fundación adyacente. Si no se cumpliera dicho

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

criterio, se deberá profundizar la fundación proyectada, hasta que la condición impuesta se satisfaga, tal como se muestra en la Figura 3.3.12.1-1.

FIGURA 3.3.12.1-1
PLANO DE SEGURIDAD DE FUNDACIONES



Fuente: Elaboración propia

En el caso que se detecten rellenos artificiales en los sellos de fundación, se deberá profundizar las excavaciones hasta alcanzar el suelo natural y penetrar en él un mínimo de 0,20 m. Cualquier sobrexcavación que se produzca por la condición anterior o para alcanzar el suelo de fundación recomendado o por cualquier otra causal, deberá ser rellenada con hormigón pobre de 85 kg (2 bolsas) de cemento por metro cúbico de mezcla.

3.3.12.2. Capacidad de Soporte de Fundaciones

La presión de contacto estática de las fundaciones, por concepto de resistencia al corte del suelo, no deberá ser superior a la presión máxima admisible determinada de las siguientes expresiones:

Fundación en grava arenosa:

$$q_{ad} = 21{,}0 \cdot D \cdot \left(1 + 0{,}84 \cdot \frac{B}{L}\right) + 12{,}0 \cdot B \cdot \left(1 - 0{,}40 \cdot \frac{B}{L}\right)$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fundación en maicillo:

$$q_{ad} = (10{,}0 + 12{,}0 \cdot D) \cdot \left(1 + 0{,}74 \cdot \frac{B}{L}\right) + 5{,}4 \cdot B \cdot \left(1 - 0{,}40 \cdot \frac{B}{L}\right)$$

Donde:

q_{ad} : presión admisible estática de contacto entre fundación y suelo, en t/m^2.

B : ancho de la fundación (lado menor) en m.

L : largo de fundación en m.

D : profundidad de fundación en m.

En cualquier caso, ninguna fundación podrá tener una presión de contacto, para el caso estático, mayor que 50 t/m^2.

Para los efectos de combinación de carga estática permanente más eventual (sísmica) el valor de q_{ad} podrá aumentarse en un 50%.

$$q_{ad\_s} = 1{,}5 \cdot q_{ad}$$

donde:

$q_{ad.s}$: presión admisible de contacto en condiciones eventuales (sísmica) entre fundación y suelo, en t/m^2.

La presión admisible de contacto determinada de las expresiones anteriores no es una condición suficiente en el dimensionamiento de las fundaciones, las cuales deberán ser verificadas a los asentamientos máximos admisibles.

3.3.12.3. Sectores Canal Arriba de Catemu desde Bocatoma hasta Km 13,700; Portal de Entrada y Salida Túnel 1; Descarga Vega; Descarga Reinoso; Canal arriba de Catemu Km 13,700 a Km 17,500; Portal de entrada y salida Túnel 2; Canal de Restitución; Aguas abajo de Km 17,500

Los tipos de fundación más apropiados y económicos para las estructuras proyectadas son cimientos corridos y zapatas aisladas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El ancho mínimo para cimientos corridos será de 0,5 m y para zapatas aisladas será de 0,6 m. La profundidad mínima de las fundaciones será de 0,6 m y el enterramiento mínimo será el que le permita llegar al suelo de fundación especificado en el siguiente acápite. Cuando la fundación se encuentre afecta a paso de agua, la profundidad de enterramiento deberá considerarse bajo el nivel máximo de socavación.

Las fundaciones de las estructuras deberán quedar por debajo del plano de seguridad que está determinado por un plano inclinado que sube en un ángulo de aproximadamente 45º desde el sello de una fundación adyacente. Si no se cumpliera dicho criterio, se deberá profundizar la fundación proyectada, hasta que la condición impuesta se cumpla.

En el caso que se detecten rellenos artificiales en los sellos de fundación, se deberá profundizar las excavaciones hasta alcanzar el suelo natural y penetrar en él un mínimo de 0,20 m. Cualquier sobrexcavación que se produzca por la condición anterior, para alcanzar el suelo de fundación recomendado o por cualquier otra causal, deberá ser rellenada con hormigón pobre de 85 kg (2 bolsas) de cemento por metro cúbico de mezcla.

3.3.12.4. Capacidad de soporte de fundaciones

La presión de contacto estática de las fundaciones, por concepto de resistencia al corte del suelo, no deberá ser superior a la presión máxima admisible determinada de las siguientes expresiones:

Fundación en grava arenosa (Canal arriba de Catemu desde bocatoma hasta Km 13,700: estrato H-3):

$$q_{ad} = 21.0 \cdot D \cdot \left(1 + 0.84 \cdot \frac{B}{L}\right) + 12.0 \cdot B \cdot \left(1 - 0.40 \cdot \frac{B}{L}\right)$$

Fundación en arena arcillosa y/o limo arcillo arenoso con gravas (Descarga Reinoso: estrato H-2; **Portal de entrada y salida túnel 2**: estrato H-2; **MCH**: estratos H-2, H-3 y H-4; **Canal de Restitución**: estrato H-3):

$$q_{ad} = (19.0 + 4.5 \cdot D)\left(1 + 0.60 \cdot \frac{B}{L}\right) + 2.0 \cdot B \cdot \left(1 - 0.40 \cdot \frac{B}{L}\right)$$

Fundación en arcilla con bolones, bloques y trozos de roca (Portal de entrada y salida túnel 1: estrato H-2; **Descarga Vega**: estrato H-2; **Canal arriba de Catemu Km 13,700 a Km 17,500**: estrato H-2; **Aguas abajo de Km 17,500**: estrato H-2):

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$q_{ad} = (15.6 + 4.7 \cdot D) \cdot \left(1 + 0.51 \cdot \frac{B}{L}\right) + 1.2 \cdot B \cdot \left(1 - 0.40 \cdot \frac{B}{L}\right)$$

Fundación en arena limo arcillosa y/o limo arcillo arenoso (Canal arriba de Catemu desde bocatoma hasta Km 13,700: estrato H-2; **Aguas abajo de Km 17,500**: estrato H-1):

$$q_{ad} = (8.4 + 3.4 \cdot D)\left(1 + 0.45\frac{B}{L}\right) + 0.7 \cdot B \cdot \left(1 - 0.40 \cdot \frac{B}{L}\right)$$

Donde:

q_{ad} : presión admisible estática de contacto entre fundación y suelo, en t/m^2.

B : ancho de la fundación (lado menor) en m.

L : largo de fundación en m.

D : profundidad de fundación en m.

En cualquier caso, ninguna fundación podrá tener una presión de contacto, para el caso estático, mayor que 35 t/m^2.

Para los efectos de combinación de carga estática permanente más eventual (sísmica) el valor de q_{ad} podrá aumentarse en un 50%.

La presión admisible de contacto determinada de la expresión anterior no es una condición suficiente en el dimensionamiento de las fundaciones, las cuales deberán ser verificadas a los asentamientos máximos admisibles.

3.3.13. Sector Minicentral Hidroeléctrica (MCH)

3.3.13.1. Tipo de Fundación y Dimensiones Mínimas

Los tipos de fundación posibles para la estructura proyectada son:

Cimientos corridos y zapatas aisladas: Esta solución se usará en lugares donde no sea necesario soportar niveles de subpresión muy altos. El ancho mínimo para cimientos corridos será de 0,5 m y para zapatas aisladas será de 1,0 m. La profundidad mínima de enterramiento de las fundaciones será de 1,0 m bajo el nivel máximo de socavación, si existiese.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En caso que se requiera, para la ejecución de fundaciones será necesario el desvío del agua y el agotamiento de napa.

Losa de fundación: La losa de fundación será de hormigón armado con un área en planta por lo menos igual a la planta del conjunto de estructuras, con un espesor no inferior a 0,4 m. El cálculo estructural definirá el espesor final de la losa. La profundidad mínima de enterramiento de la losa será de 1,0 m bajo el nivel máximo de socavación. Para la ejecución de fundaciones será necesario el desvío del agua y el agotamiento de napa, que se indica en el capítulo 3.10.

Las fundaciones de las estructuras deberán quedar por debajo del plano de seguridad que está determinado por un plano inclinado que sube en un ángulo de aproximadamente 45º desde el sello de una fundación adyacente. Si no se cumpliera dicho criterio, se deberá profundizar la fundación proyectada, hasta que la condición impuesta se satisfaga.

En el caso que se detecten rellenos artificiales en los sellos de fundación, se deberá profundizar las excavaciones hasta alcanzar el suelo natural y penetrar en él un mínimo de 0,20 m. Cualquier sobrexcavación que se produzca por la condición anterior, para alcanzar el suelo de fundación correcto o por cualquier otra, deberá ser rellenada con hormigón pobre de 85 kg (2 bolsas) de cemento por metro cúbico de mezcla.

3.3.13.2. Capacidad de Soporte de Fundaciones

La presión de contacto estática de las fundaciones, por concepto de resistencia al corte del suelo, no deberá ser superior a la presión máxima admisible determinada de las siguientes expresiones:

Fundación en arena arcillosa y/o limo arcillo arenoso con gravas (estratos H-2, H-3 y H-4):

$$q_{ad} = (19.0 + 4.5 \cdot D)\left(1 + 0.60 \cdot \frac{B}{L}\right) + 2.0 \cdot B \cdot \left(1 - 0.40 \cdot \frac{B}{L}\right)$$

Fundación en probable roca meteorizada tipo maicillo (de 4,0 m de profundidad en adelante):

$$q_{ad} = (10.0 + 12.0 \cdot D) \cdot \left(1 + 0.74 \cdot \frac{B}{L}\right) + 5.4 \cdot B \cdot \left(1 - 0.40 \cdot \frac{B}{L}\right)$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Donde:

q_{ad} : presión admisible estática de contacto entre fundación y suelo, en t/m^2.

B : ancho de la fundación (lado menor) en m.

L : largo de fundación en m.

D : profundidad de fundación en m.

En cualquier caso, ninguna fundación podrá tener una presión de contacto, para el caso estático, mayor que 50 t/m^2.

Para los efectos de combinación de carga estática permanente más eventual (sísmica) el valor de q_{ad} podrá aumentarse en un 50%.

La presión admisible de contacto determinada de la expresión anterior no es una condición suficiente en el dimensionamiento de las fundaciones, las cuales deberán ser verificadas a los asentamientos máximos admisibles.

3.3.14. Asentamiento de Fundaciones

3.3.14.1. Tipos de Asentamientos

En el cálculo de asentamientos se distinguirán dos situaciones dependiendo de la velocidad de aplicación de las cargas que actúen sobre las fundaciones. Para el caso de cargas permanentes se producirán asentamientos elásticos o inmediatos, debido a la naturaleza del suelo de fundación (mayormente granular) y a que este se encuentra no saturado, que se obtendrán de las fórmulas basadas en la teoría de elasticidad.

Debido a cargas dinámicas (sismo) se producirá adicionalmente una componente de asentamiento elástico, pero con un suelo que actúa en forma más rígida que en el caso estático, estos asentamientos se calcularán de acuerdo a lo estipulado anteriormente.

3.3.14.2. Asentamiento para Cargas Permanentes

El asentamiento elástico o instantáneo de las fundaciones, para el caso de cargas permanentes, se obtendrá de la siguiente expresión:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Sector Bocatoma:

Fundación en grava arenosa:

$$S_i = 0.038 \frac{q\, B\, I_o\, F_3}{\sqrt{D+B}}$$

Fundación en maicillo:

$$S_i = 0.045 \frac{q\, B\, I_o\, F_3}{\sqrt{D+B}}$$

Canal arriba de Catemu desde bocatoma hasta Km 13,700; Portal de entrada y salida Túnel 1; Descarga Vega; Descarga Reinoso; Canal arriba de Catemu Km 13,700 a Km 17,500; Portal de entrada y salida Túnel 2; Canal de Restitución; Aguas abajo de Km 17,500:

*Fundación en grava arenosa (*Canal arriba de Catemu desde bocatoma hasta Km 13,700: estrato H-3*):*

$$S_i = 0.038 \frac{q\, B\, I_o\, F_3}{\sqrt{D+B}}$$

Fundación en arena arcillosa y/o limo arcillo arenoso con gravas (Descarga Reinoso: estrato H-2; Portal de entrada y salida túnel 2: estrato H-2; MCH: estratos H-2, H-3 y H-4; Canal de Restitución: estrato H-3):

$$S_i = 0.046 \frac{q\, B\, I_o\, F_3}{\sqrt{D+B}}$$

Fundación en arcilla con bolones, bloques y trozos de roca (Portal de entrada y salida túnel 1: estrato H-2; Descarga Vega: estrato H-2; Canal arriba de Catemu Km 13,700 a Km 17,500: estrato H-2; Aguas abajo de Km 17,500: estrato H-2):

$$S_i = 87.75 \frac{q\, B\, I_o\, F_3}{400 + 600\,(D+B)}$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fundación en arena limo arcillosa y/o limo arcillo arenoso (Canal arriba de Catemu desde bocatoma hasta Km 13,700: estrato H-2; Aguas abajo de Km 17,500: estrato H-1):

$$S_i = 87.75 \frac{q\, B\, I_o\, F_3}{400 + 500\,(D + B)}$$

Sector MCH:

Fundación en arena arcillosa y/o limo arcillo arenoso con gravas (estratos H-2, H-3 y H-4):

$$S_i = 0.060 \frac{q\, B\, I_o\, F_3}{\sqrt{D + B}}$$

Fundación en probable roca meteorizada tipo maicillo (de 4,0 m de profundidad en adelante):

$$S_i = 0.020 \frac{q\, B\, I_o\, F_3}{\sqrt{D + B}}$$

Donde:

S_i : asentamiento instantáneo en cm

q : presión de contacto promedio fundación-suelo en t/m^2

B : ancho de fundación (lado menor) en m

D : profundidad de fundación en m

I_o : factor de forma según cuadro 3.3.14.2-1

F_3 : factor de enterramiento según cuadro 3.3.14.2-2

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.14.2-1
FACTORES DE FORMA A UTILISAR EN EXPRESIONES DE ASENTAMIENTO

L/B	I_o
1,0	0,82
1,5	1,06
2,0	1,20
5,0	1,70
>10,0	2,10

L: largo de la fundación
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.3.14.2-2
FACTORES DE ENTERRAMIENTO A USAR EN EXPRESIONES DE ASENTAMIENTOS

D/B	F_3
0,0	1,00
0,5	0,87
1,0	0,78
2,0	0,68
3,0	0,62
4,0	0,58
5,0	0,55
10,0	0,52

D: profundidad de fundación
Fuente: Elaboración propia

3.3.14.3. Asentamiento para Cargas Sísmicas

El asentamiento adicional producido por cargas dinámicas (sísmicas) verticales, se podrá calcular, en caso de ser necesario, de la expresión:

Sector Bocatoma:

Fundación en grava arenosa:

$$S_i = 0.013 \frac{q_d \, B \, I_o \, F_3}{\sqrt{D+B}}$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Fundación en maicillo:

$$S_i = 0.015 \frac{q_d \, B \, I_o \, F_3}{\sqrt{D+B}}$$

Canal arriba de Catemu desde bocatoma hasta Km 13,700; Portal de entrada y salida Túnel 1; Descarga Vega; Descarga Reinoso; Canal arriba de Catemu Km 13,700 a Km 17,500; Portal de entrada y salida Túnel 2; Canal de Restitución; Aguas abajo de Km 17,500:

*Fundación en grava arenosa (*Canal arriba de Catemu desde bocatoma hasta Km 13,700: estrato H-3*):*

$$S_i = 0.013 \frac{q_d \, B \, I_o \, F_3}{\sqrt{D+B}}$$

Fundación en arena arcillosa y/o limo arcillo arenoso con gravas (Descarga Reinoso: estrato H-2; Portal de entrada y salida túnel 2: estrato H-2; MCH: estratos H-2, H-3 y H-4; Canal de Restitución: estratoH-3):

$$S_i = 0.015 \frac{q_d \, B \, I_o \, F_3}{\sqrt{D+B}}$$

Fundación en arcilla con bolones, bloques y trozos de roca (Portal de entrada y salida túnel 1: estrato H-2; Descarga Vega: estrato H-2; Canal arriba de Catemu Km 13,700 a Km 17.500: estrato H-2; Aguas abajo de Km 17,500: estrato H-2):

$$S_i = 29.25 \frac{q_d \, B \, I_o \, F_3}{400 + 600 (D+B)}$$

Fundación en arena limo arcillosa y/o limo arcillo arenoso (Canal unificado: estrato H-2; Aguas abajo canal revestido: estrato H-1):

$$S_i = 29.25 \frac{q_d \, B \, I_o \, F_3}{400 + 500 (D+B)}$$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Sector MCH:

Fundación en arena arcillosa y/o limo arcillo arenoso con gravas (estratos H-2, H-3 y H-4):

$$S_i = 0.060 \frac{q_d \, B \, I_o \, F_3}{\sqrt{D + B}}$$

Fundación en probable roca meteorizada tipo maicillo (de 4,0 m en adelante):

$$S_i = 0.020 \frac{q_d \, B \, I_o \, F_3}{\sqrt{D + B}}$$

Donde los términos son idénticos a los de la expresión para asentamientos elásticos de cargas permanentes, pero S_d y q_d son respectivamente la componente dinámica del asentamiento y la componente dinámica de la presión.

3.3.14.4. Recomendaciones Sobre Asentamientos

El asentamiento máximo total admisible de cada fundación (fundaciones corridas y/o aisladas) individual se recomienda que no sea superior a 1/400 de la distancia entre ejes paralelos de los muros considerados. Este asentamiento así calculado garantiza una distorsión angular de muros en su plano vertical inferior a 1/600, si se supone que el asentamiento máximo diferencial es igual a 2/3 del máximo total.

En cualquier caso ninguna fundación corrida o aislada podrá tener un asentamiento total calculado para cargas permanentes superior a 2,0 cm. La losa en tanto, no podrá presentar asentamientos totales mayores que 6,0 cm

3.3.14.5. Constantes de Balasto

Las constantes de balasto para el modo de deformación por asentamientos verticales de las fundaciones, se podrán calcular de las expresiones dadas para los asentamientos, distinguiéndose las mismas circunstancias de velocidad de aplicación de las cargas.

En general las constantes de balasto se podrán calcular de las siguientes expresiones:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$k = \frac{q}{S_l}$, para cargas permanentes

$k = \frac{q_d}{S_d}$, para cargas sísmicas

(Nota: En el cálculo de las constantes de balasto se deberá utilizar unidades consistentes para obtener valores en ton/m^3 o kg/cm^3.)

3.3.14.6. Giros de Fundaciones

Para el cálculo de giros de fundaciones se podrá utilizar el concepto de la constante de balasto. Los giros se calcularán de la expresión:

$\theta = \frac{M}{k_g I}$, radianes

Donde:

θ	:	Giro de la fundación en radianes.
k_g	:	Constante de balasto al giro igual a 2 veces las constante de balasto al descenso vertical.
M	:	Momento volcante a nivel de terreno.
I	:	Momento de inercia del área del sello de fundación según el eje que pasa por el centro de gravedad de dicha área y en la dirección del momento considerado según la convención vectorial.

3.3.15. Empujes de Suelo Sobre Muros

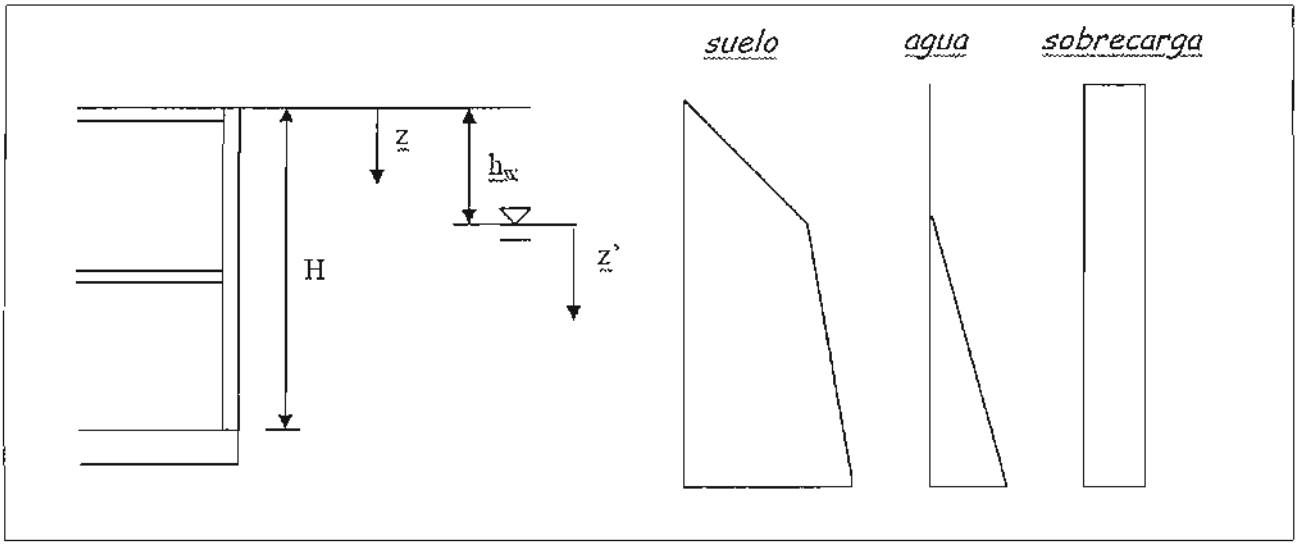
3.3.15.1. Empuje Sobre Muros que Presentan Restricción al Movimiento

El empuje de suelo que actúa horizontalmente sobre muros verticales que presentan restricción al movimiento horizontal (por ejemplo, muros de subterráneo) podrá calcularse utilizando un coeficiente de transmisión de presiones en reposo igual a 0,5 y un peso unitario del relleno de 2,0 t/m^3. Se ha supuesto que el material detrás del muro es de procedencia local, se recomienda no utilizar arcilla como material de relleno, sino más bien un material granular. En caso de existir napa se considerará un peso unitario boyante de 1,0 t/m^3 bajo la napa y el empuje de agua en la zona saturada.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En la Figura 3.3.15.1-1 se presenta un esquema de cargas para muros que presentan restricción al movimiento y en la Figura 3.3.15.1-2 se presenta un esquema de sobrecarga por rellenos inclinados.

FIGURA 3.3.15.1-1
ESQUEMA DE CARGAS PARA MUROS QUE PRESENTAN RESTRICCIÓN AL MOVIMIENTO



Fuente: Elaboración propia

$\sigma_h = z + 0{,}5 q_S$, para relleno sin napa

$\sigma_h = h_w + 0{,}5(z' + q_S) - z'$, para relleno con napa parcial

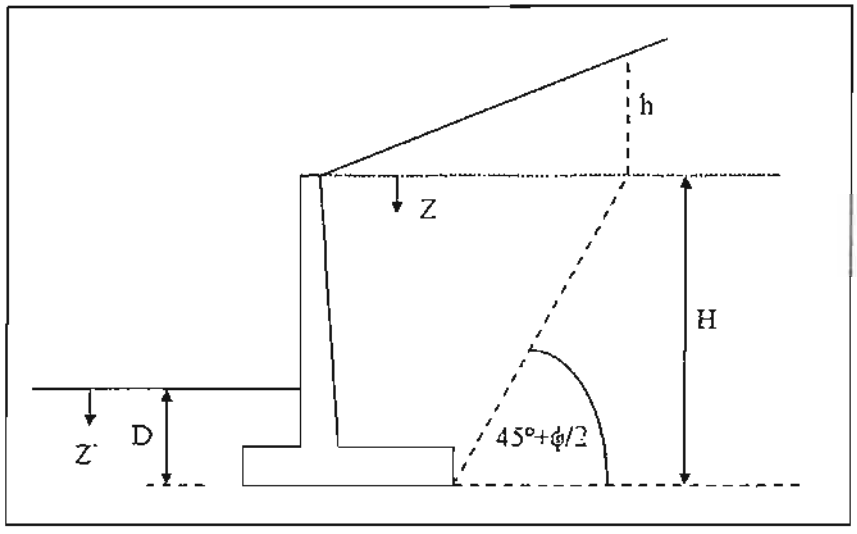
Donde:

σ_h : presión horizontal sobre el muro de subterráneo en t/m2.

q_s : sobrecarga que podría existir a nivel de superficie, en t/m^2. Para rellenos inclinados usar sobrecarga $q_s = \gamma\left(\frac{h}{2}\right)$, con h en m (ver Figura 3.3.15.1 2).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.3.15.1-2
ESQUEMA DE SOBRECARGA POR RELLENOS INCLINADOS



Fuente: Elaboración propia

h_w : profundidad de la napa.

z, z' : profundidad a la cual se desea determinar σ_h, medido desde la superficie, en m, y desde el nivel de la napa respectivamente.

En la eventualidad de la ocurrencia de un sismo se deberá agregar a la presión estática permanente del caso activo, un aumento sísmico de acuerdo a una ley de triángulo invertido, la presión total del caso sísmicc (presión activa más sísmica) queda dado por la expresión:

$$\sigma_{hsis} = 0.66z + 0.28(H - z)$$, para relleno sin napa

$$\sigma_{hsis} = 0.66h_w + 1.33z' + 0.14(H - h_w - z')$$, para relleno con napa parcial

Donde:

σ_{hsis} : presión total del caso sísmico, en t/m^2

hw : profundidad de la napa.

H : altura enterrada del muro en m.

z, z' : profundidad a la cual se desea determinar σ_{hsis}, medido desde la superficie, en m, y desde el nivel de la napa respectivamente.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.3.15.2. Empuje Sobre Muros que No Presentan Restricción al Movimiento

El empuje de suelo que actúa horizontalmente sobre muros que no presenten restricción al movimiento lateral, podrá calcularse utilizando un coeficiente de transmisión de presiones activo igual a 0,33 y un peso unitario de 2,0 t/m^3. Se ha supuesto que el material detrás del muro es de procedencia local, se recomienda no utilizar arcilla como material de relleno, sino más bien un material granular. En caso de existir napa se considerará un peso unitario boyante de 1,0 t/m^3 bajo la napa y el empuje de agua en la zona saturada.

$\sigma_h = 0,66z + 0,33q_s$, para relleno sin napa

$\sigma_h = 0,66h_w + 0,33(z' + q_s) + z'$, para relleno con napa parcial

Donde:

σ_{hsis} : empuje total del caso sísmico, en t/m^2.

H : altura enterrada del muro en m.

h_w : profundidad de la napa.

z, z' . profundidad a la cual se desea determinar σ_{hsis}, medido desde la superficie, en m, y desde el nivel de la napa respectivamente.

La presión anterior es válida para el caso activo a largo plazo. En la eventualidad de la ocurrencia de un sismo y si se requiere considerar empuje pasivo en la altura enterrada del muro, se utilizarán las mismas expresiones dadas en el Acápite 3.3.15.1 para empuje sísmico.

Para el cálculo de empujes pasivos se podrá utilizar la siguiente expresión:

$\sigma_p = 1.8K_p z_p$, suelo sin napa

$\sigma_p = K_p z_p$, suelo saturado

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Donde:

σ_p : presión pasiva horizontal sobre el muro en t/m^2. Al utilizarla en los cálculos, esta presión debe disminuirse por un factor de seguridad mínimo de 1,5.

z_p : profundidad a la cual se desea determinar σ_p, en m, medida desde la superficie del suelo en el costado opuesto del relleno.

K_p : coeficiente de transmisión de presiones del caso pasivo. Usar 2,6 para fundaciones en arena y arcilla arenosa y 4,6 para fundaciones en grava

Para evaluar la fuerza de fricción entra la fundación del muro y el suelo de apoyo, se recomienda utilizar un coeficiente de fricción de 0,5.

3.3.15.3. Flotabilidad de Estructuras Enterradas

Los equipos de estructuras enterradas bajo la napa podrán poseer zarpas exteriores para contrarrestar el efecto de la subpresión debido a la presencia de la napa.

Deberá verificarse que la siguiente condición para la situación de funcionamiento más desfavorable; vacía, por ejemplo.

$$E \leq 0{,}67\ (W_E + W_R) \qquad (FS = 1{,}50)$$

Donde:

E : Subpresión en ton, obtenida calculando el peso del agua desplazada por la nueva estructura.

W_E : Peso de la nueva estructura en ton, en la condición de funcionamiento más desfavorable.

W_R : Peso boyante del relleno sobre la zarpa exterior en t.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.3.16. Estabilidad de Taludes

3.3.16.1. Cortes en Tramo Entre Bocatoma y Km 13,7 y Km 17,5 en Adelante

Según se observa de la estratigrafía, los taludes de corte se excavarán en arenas arcillosas, arcillas arenosas y limos arenosos, y es probable que en la parte inferior de su altura, alcance roca. Dado que la situación más desfavorable se dará en los sitios donde el talud es completamente de suelo, los análisis y recomendaciones se avocarán a esa situación.

Se analizó un talud de 10 m de altura con inclinación de 63° y pendiente natural del cerro 30°, obteniéndose un factor de seguridad estático de 1,473, que es aceptable. El coeficiente sísmico de fluencia en tanto, fue de 0,26, el cual también cumple con los criterios normales de aceptación. Ver detalles en Anexo 3-5.

Estos análisis fueron efectuados sin considerar napa, pues no existe, y el agua que pudiese correr por los taludes en invierno, no alcanza a crear un nivel freático. Confirma lo anterior, el hecho de no haber encontrado presencia de agua en ninguno de los pozos.

Para los casos en los cuales el cerro efectivamente porte con un caudal de napa, se permitirán taludes de corte de máximo 45°.

Para taludes de corte en roca, se recomienda considerar una inclinación de 80°.

No se recomiendan bermas en el talud ni a nivel del borde interior del cana, puesto que en la práctica se ha demostrado que el agua lluvia tiende a formar charcos en estas irregularidades, la cual se infiltra hacia el interior del suelo formando grietas y provocando el derrumbe del talud.

Cuando el talud tenga una altura mayor a 8 m, deberán considerarse contrafosos revestidos a una distancia de 5 a 8 m del borde del talud. Las bajadas de agua desde los contrafosos deben ser debidamente canalizadas y revestidas.

3.3.16.2. Cortes en Tramo Entre Km 13,7 y Km 17,5

El análisis de estabilidad para este caso en encuentra en el Anexo 3-5. El factor de seguridad estático fue de 1,361 para los taludes de corte en maicillo. Si bien es cierto, lo anterior indica que es estable estáticamente hablando, la experiencia indica que ocurren fenómenos de deslizamiento de planchones que finalmente reducen la pendiente a valores cercanos a los 45°. Por esta razón se recomendará para taludes de corte inferiores a 4 m, un máximo de pendiente de 56° y para cortes mayores, 45°.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.3.16.3. Taludes Paredes del Canal

Actualmente, los taludes presentan una inclinación casi vertical para alturas de 1,2 a 1,5 m, siendo satisfactorio su comportamiento a la fecha, razón por la cual se podrá mantener esta situación en el talud de borde hacia el valle, para alturas proyectadas similares. El análisis de estabilidad para estos cortes verticales también se presenta en el Anexo 3-5, para cada material detectado en las paredes del canal. Los factores de seguridad estáticos obtenidos fueron de 1,7 y 2,8, y las aceleraciones de fluencia correspondientes a cada perfil, son de 0,35 y 0,95 g.

Idealmente el talud del lado del cerro, debe continuar con la pendiente del talud de corte. En los sectores donde no existe corte del cerro, el talud del costado interior del canal debe mantenerse con la misma pendiente actual.

Dado que lo anterior obliga a realizar grandes cortes para mantener la inclinación, que las alturas consideradas para los canales del proyecto, varían entre 1,4 y 3,6 m, y que se precisa de una sección estandarizada, se recomienda alternativamente una inclinación de 56° respecto de la horizontal para cortes de hasta 4,0 m de altura.

3.3.16.4. Sostenimiento de Taludes Mediante Refuerzo Mecánico

Para taludes de corte permanentes que superen las inclinaciones máximas permitidas en los casos anteriores, se deberá estabilizar el terreno mediante refuerzo mecánico, es decir, soil nailing.

3.3.16.5. Excavaciones Temporales

Para taludes de corte temporales para construir estructuras subterráneas, se podrá evitar la entibación si el corte se realiza con una inclinación máxima de 56° respecto de la horizontal. Si por razones de espacio fuese necesario hacer cortes más verticales, se deberán construir pilas de entibación arriostradas mediante puntal o tirante, dependiendo de la altura a sostener.

3.3.17. Agotamiento de Napa

El proyecto considera estructuras fundadas bajo el nivel de agua, por lo cual para su construcción será necesario desviar el canal original y probablemente agotar el nivel de agua. Se considerará una depresión de la napa hasta al menos 0,5 m por debajo de la excavación más profunda. Se recomienda considerar una permeabilidad del suelo de 10^{-5} m/s para fines de diseño del sistema de agotamiento.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

El agotamiento de la napa para rebajar su nivel, se podrá realizar directamente desde pozos desde la superficie del terreno. Se recomienda que se ubiquen estos pozos a unos 2,0 m del sitio a agotar y espaciados a no más de 8,0 m entre sí. El sistema mínimo estará constituido de un pozo de agotamiento y otro de medición del nivel de napa, al otro lado del sector a agotar. En el pozo de inspección se deberá verificar que el nivel de napa se encuentre al menos 0,5 m por debajo de la excavación más profunda.

Los pozos de agotamiento deberán alcanzar una profundidad de 1,5 m por debajo del sello de la fundación. **El agotamiento, una vez comenzado, se deberá mantener hasta que cálculo indique que el peso de la estructura es suficiente para aplacar la subpresión. Se deberá contar con grupos electrógenos de emergencia, de manera que el sistema de agotamiento no se detenga cuando ocurran cortes de energía.**

3.3.18. Recomendaciones de Construcción

La construcción de las fundaciones y radieres se atendrá a las recomendaciones indicadas en los párrafos siguientes:

1. Las excavaciones para fundaciones podrán ser realizadas a máquina o manualmente con taludes verticales hasta una altura máxima de 1,5 m. De ahí en adelante deberá ataludarse respetando un ángulo de 56° respecto de la horizontal. Los últimos 0,10 m antes de llegar al sello de excavación, deberán ser realizados manualmente con el propósito de obtener un sello libre de material suelto, removido o perturbado.

2. En excavaciones profundas para fundaciones, se podrá utilizar un mejoramiento de hormigón pobre para alcanzar el sello de fundación. También se podrán utilizar hormigón pobre en las zonas de relleno que sea difícil compactar o donde se requiera obtener alguna forma determinada.

3. El hormigón pobre se preparará en betonera con la cantidad de agua suficiente para darle una trabajabilidad compatible con la colocación. La dosis de cemento será de por lo menos 85 kg (2 bolsas) de cemento por cada metro cúbico de mezcla y, una vez colocada, se compactará con vibrador de inmersión o pisón manual. Se podrá utilizar hasta un 30% de bolón desplazador en el hormigón pobre.

4. Las fundaciones se hormigonarán directamente contra las paredes de la excavación cuando ello sea posible.

5. Los terraplenes compactados se construirán con suelo de tamaño máximo 4" y contenido de finos bajo 0,080 mm entre 5 y 30%, que se compactará mediante

a lo menos 6 pasadas de rodillo vibratorio de peso estático mínimo 2 t, en capas de espesor suelto de 30 cm., hasta alcanzar una densidad equivalente al 95% de la densidad máxima seca dada por el ensayo de Proctor Modificado. El sobre ancho será de 1,5 m, medidos en el nivel superior, desde el borde de la estructura a contener. El talud máximo de terraplén será de 33° respecto de la horizontal.

6. Los rellenos tras los muros se realizarán con material de procedencia local, limitado a un tamaño máximo no superior a 4". El relleno se colocará en capas sueltas de 20 cm de espesor y se compactará mediante a lo menos 6 pasadas de placa para no inducir tensiones excesivas sobre los muros. En este relleno, no se debe apoyar ninguna estructura.

7. Las tuberías sobre las cuales no se proyecta sobrecarga, se deberán proteger mediante un relleno de suelo que las cubra. El espesor de dicho relleno será de aprox. 1,0 m. El valor final lo deberá estimar el proyectista considerando las especificaciones del fabricante.

8. En caso que sobre la tubería se proyecten cargas como por ejemplo el paso de vehículos, se deberá considerar la construcción de alguna estructura que la proteja de dicha carga.

Cualquier situación no prevista en el presente informe o cualquier modificación que se desee realizar a su contenido, deberá ser consultada y aprobada por los que suscriben.

3.4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

En este acápite se determina la disponibilidad del recurso hídrico en el Río Aconcagua sector de Bocatoma de los canales El Alto, El Bajo y el Pepino. También se determinan los caudales de crecida asociados a las zonas de cruce de quebrada identificadas en terreno. Por último se determinan los caudales de crecida para el sector del Río Aconcagua en el sector de Bocatoma de los canales El Alto, El Bajo y el Pepino. La metodología utilizada para determinar los caudales anteriores se describe a continuación: En el Cuadro 3.4-1 se presenta el código BNA, la extensión de las estadísticas y la vigencia de las estaciones fluviométricas que se encuentran cercanas al área de estudio. Se recopilo información de caudales medios mensuales y de caudales máximos.

En el Cuadro 3.4-2 se presenta la cota y la ubicación, en coordenadas geográficas y UTM, para las estaciones recopiladas. En la Figura 3.4-1 se muestra la ubicación general de las estaciones fluviométricas y la envolvente del área de estudio, en el sector de Catemu.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.4-1
CÓDIGO BNA Y EXTENSIÓN DE REGISTRO ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

Nombre Estación	Código BNA	Extensión Estadística años	Vigencia
Rio Aconcagua en San Felipe	05410005-1	1918 - 2009	V
Estero Quilpué antes junta Rio Aconcagua	05415001-6	1962 - 1972	N-V
Rio Aconcagua en Panquehue	05420004-8	1946 - 1951	N-V
Estero Catemu antes junta Rio Aconcagua	05421001-9	1962 - 1984	N-V
Estero Catemu en Puente Santa Rosa	05421002-7	1985 - 2010	V
Rio Aconcagua en Chagres	05421003-5	1920 - 1930	N-V
Río Aconcagua en Chacabuquito	05410002-7	1950 - 2010	V

Leyenda: V: Vigente N-V: No Vigente
Fuente: Elaboración propia a partir de DGA

En el Cuadro 3.4-2 se observa que las estaciones Río Aconcagua en Chagres, Río Aconcagua en Panquehue poseen poca información y desactualizada, por lo que no se consideran validas para el siguiente estudio. A pesar que estas estaciones corresponden a las más cercanas al área de estudio no son consideraras como representativas. De esta forma la Estación de Río Aconcagua en San Felipe corresponde a la más representativa y útil para este estudio, en cuanto a extensión de información y ubicación geográfica.

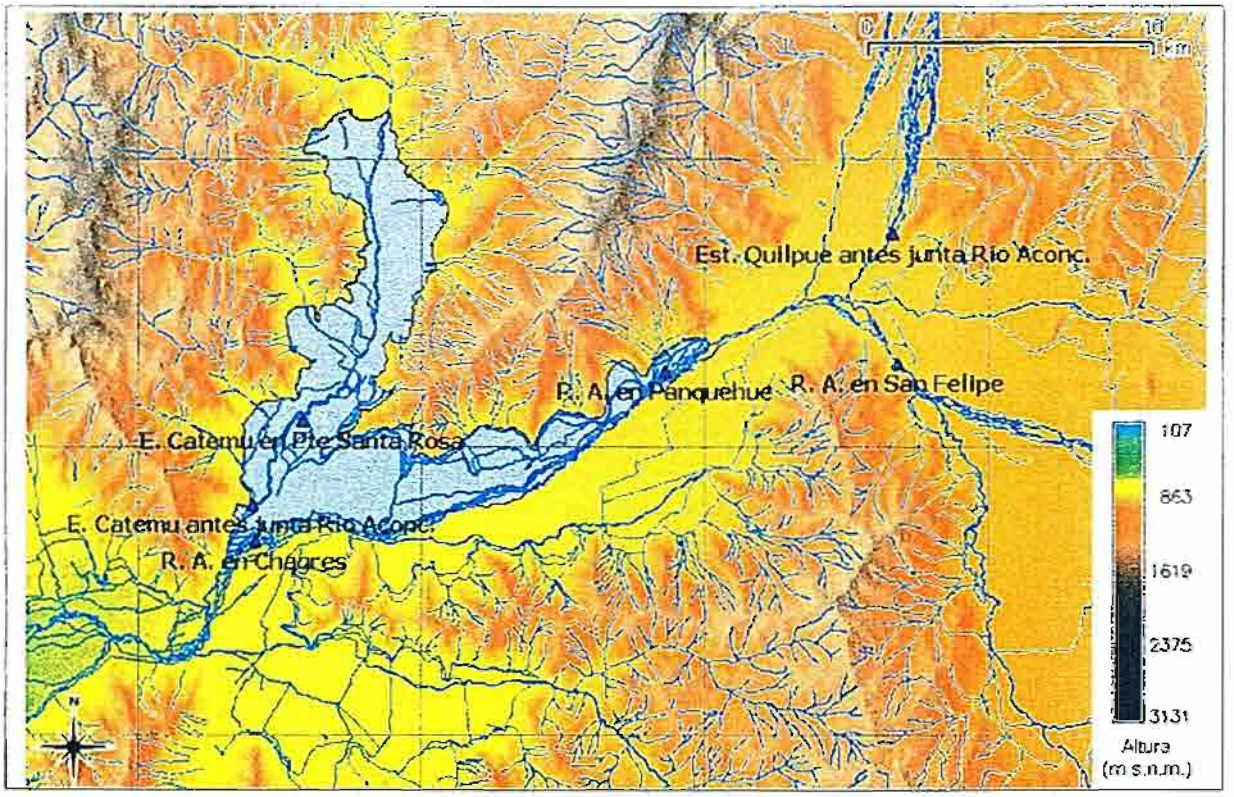
CUADRO 3.4-2
ALTURA Y UBICACIÓN DE ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

Nombre Estación	Altura (msnm)	Latitud Sur	Longitud Oeste	E (UTM)	N (UTM)
Rio Aconcagua en San Felipe	650	32° 45'	70° 44'	6374237	337307
Estero Quilpué antes junta Rio Aconcagua	530	32° 43'	70° 44'	6377333	336320
Rio Aconcagua en Panquehue	510	32° 45'	70° 50'	6374885	328236
Estero Catemu antes junta rio Aconcagua	389	32° 49'	71° 00'	6367211	312760
Estero Catemu en puente santa rosa	410	32° 46'	70° 58'	6371655	314810
Rio Aconcagua en Chagres	395	32° 48'	70° 59'	6369088	314286

Nota: Coordenadas en UTM 19 Sur, Datum WGS84
Fuente: DGA

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.4-1
UBICACIÓN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS EN SECTOR DE ESTUDIO



Nota: Coordenadas en UTM 19 Sur, Datum WGS84
Fuente: Elaboración Propia,

Dado que no existe una Estación Fluviométrica en la zona de bocatoma de los canales Alto, Bajo y Pepino se revisó la información de distintos modelos de simulación disponibles para estimar los caudales medios mensuales asociados a probabilidades de excedencia del 5%, 20%, 50%, 85%, 90% y 95%. La información de modelos recopilada corresponde a los siguientes estudios:

- "Modificación Modelos DGA VISUAL MODFLOW-MOS Y MOS-PS Para Determinación Disponibilidac Real De Aguas Subterráneas En Valle Del Aconcagua". DICTUC Universidad Católica, 2008. Dirección de Obras Hidráulicas V Región.
- "Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona Desembocadura del Río Aconcagua" AC Ingenieros Ltda. 1997. Dirección General de Aguas.
- "Regadío del Valle de Catemu. Proyecto Túnel Salesianos". L. Stowhas y G. Galleguillos. 1987. VII Congreso Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se comparó la información y las diferencias en los resultados de cada modelo, adoptando el más representativo y actualizado. Posteriormente se procedió a extender la información de este modelo con la estación Rio Aconcagua en San Felipe, actualizando la información hasta el año hidrológico 2010-2011.

Para determinar los caudales de crecida asociado a los distintos cruces de quebradas del Canal el Alto se revisó en terreno los puntos más conflictivos, en los que se catastraron el estado actual del cruce y se recopiló información sobre los principales problemas que han producido la falta de una obra de arte en cada punto de encuentro. Los caudales de crecida para cada quebrada se estimaron mediante relaciones de precipitación-escorrentía, por lo que se procedió a la recopilación de registros y ajuste de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 hrs para las estaciones más cercanas. Se comparó el valor de estas estaciones con el valor del estudio de Precipitaciones Máximas de la DGA (1987). Finalmente se adoptó un valor representativo y mediante la Formula Racional y Verni King se obtuvo los caudales asociados a periodos de retorno de 5, 10, 20 y 50 años.

Por último para estimar los caudales de crecidas del Río Aconcagua en el sector de la bocatoma de los canales El Alto, El Bajo y el Pepino se procedió a realizar trasposición de los registros de la Estación Rio Aconcagua en San Felipe. Se realizó un ajuste de frecuencia y mediante un factor de corrección se estimó la información para los valores asociados a crecidas de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

A continuación se describen los resultados obtenidos con la metodología presentada anteriormente.

3.4.1. Caudales Medios Mensuales en Bocatoma

En primer lugar se procedió a extender y rellenar la estadística de la Estación Aconcagua en San Felipe. Para esto se consideró la información de la Estación Rio Aconcagua en Chacabuquito, que presentó un buen coeficiente de correlación para toda la zona de estudio. La extensión y relleno se realizó mediante correlación mensual. En el Cuadro 3.4.1-1 se presentan los coeficientes de correlación obtenidos para cada mes, donde α representa la pendiente de la recta y β el coeficiente de corte del eje "y".

En la Figura 3.4.1-1 se muestran las correlaciones mensuales de mayor ajuste, Noviembre y Diciembre, y las de menor ajuste, Abril y Septiembre. En el Anexo 3-6 "Caudales Medios Mensuales" se muestran los gráficos en detalle de todos los meses.

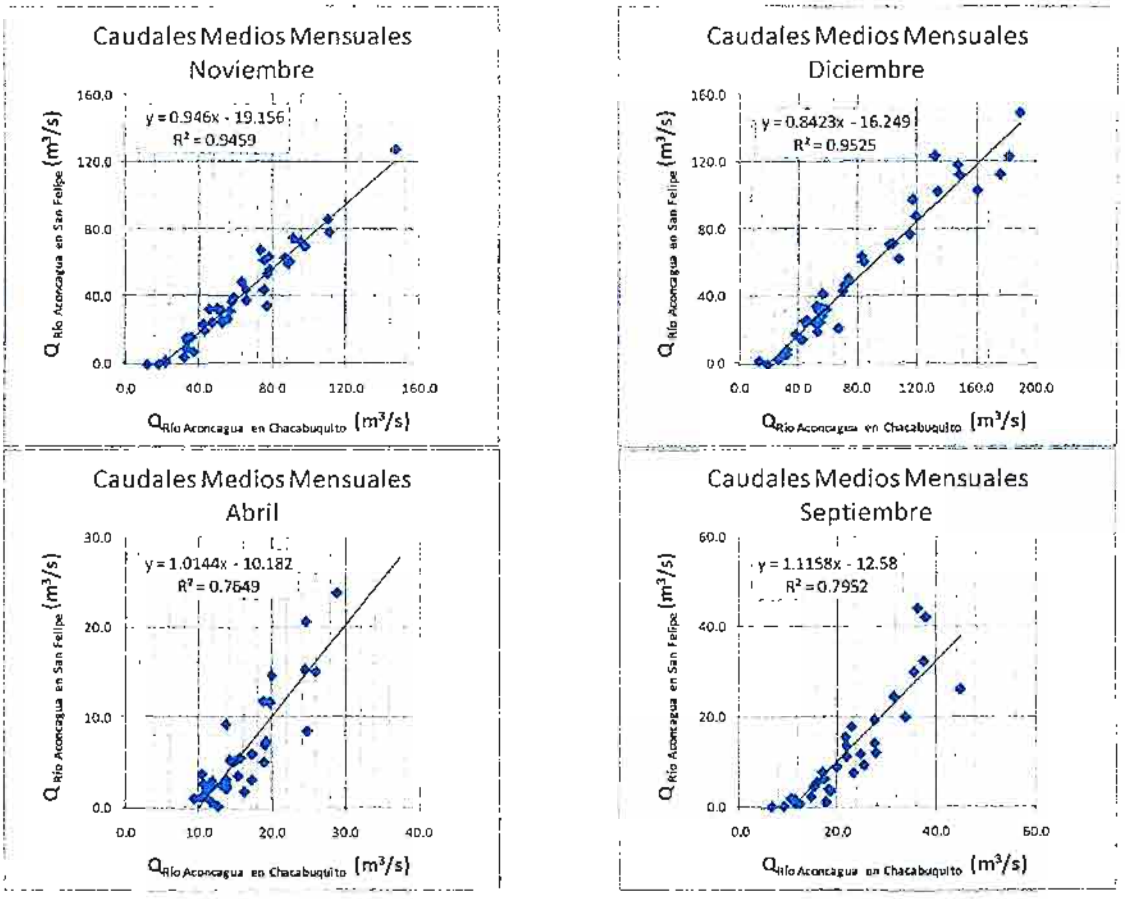
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.4.1-1
PARÁMETROS DE CORRELACIÓN ENTRE ESTACIÓN ACONCAGUA EN SAN FELIPE Y EN CHACABUQUITO

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
α	0,85	0,91	1,00	1,01	1,20	1,26	1,30	1,51	1,12	0,85	0,95	0,84
β	-17,4	-18,1	-15,7	-10,2	-9,2	-6,9	-7,1	-12,9	-12,6	-13,3	-19,2	-16,2
R^2	0,901	0,882	0,867	0,765	0,852	0,900	0,848	0,884	0,795	0,836	0,946	0,953

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.4.1-1
CORRELACIÓN CAUDALES ACONCAGUA EN SAN FELIPE Y CHACABUQUITO



Fuente: Elaboración propia

En la Cuadro 3.4.1-2 se muestran los cambios en la estadística a nivel mensual antes y después del relleno y extensión de la Estación Río Aconcagua en San Felipe.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se observa que la estadística de Aconcagua en San Felipe y Aconcagua en Chacabuquito presenta valores de caudal medio mayores en la estadística sin rellenar y extender, por lo que se justifica la necesidad de trabajar con la estadística completa, ya que el caudal en el periodo 1950-2010 sobrestima de manera anual en un 10% aproximadamente a la serie corregida y rellenada. La varianza también disminuye, por lo que la variación de caudales se atenúa en la estadística completa en comparación con la original.

Es importante acotar que la Estación Río Aconcagua en Chacabuquito pertenece a la red de monitoreo de la DGA con información en tiempo real, por lo que fue posible actualizarla hasta la fecha más reciente (marzo-2011), permitiendo completar hasta el año hidrológico más cercano.

CUADRO 3.4.1-2
VARIACIÓN ENTRE CAUDAL MEDIO Y DESVIACIÓN ESTANDAR DE REGISTROS ORIGINALES Y RELLENADOS EN LA ESTACIÓN R. A. EN SAN FELIPE

Mes/Anual	Q_{medio} (m^3/s)		ΔQ	σ		Δσ
	Sin Relleno	Con Relleno		Sin Relleno	Con Relleno	
Enero	40,7	36,5	-10,4%	39,2	35,0	-10,7%
Febrero	19,6	18,6	-4,9%	20,7	19,2	-7,5%
Marzo	9,7	9,7	-0,2%	10,7	10,0	-6,5%
Abril	6,2	6,1	-2,9%	5,9	5,7	-2,0%
Mayo	7,0	7,0	-0,3%	7,1	6,1	-14,3%
Junio	12,4	11,2	-9,8%	11,6	9,8	-15,5%
Julio	13,5	12,7	-6,3%	10,8	10,0	-7,6%
Agosto	13,7	12,5	-9,0%	14,4	12,1	-15,9%
Septiembre	12,6	10,7	-14,7%	12,0	10,5	-12,3%
Octubre	16,6	14,6	-11,9%	13,3	11,9	-10,1%
Noviembre	39,6	39,1	-1,4%	27,8	25,3	-9,1%
Diciembre	51,8	51,4	-0,8%	41,2	38,1	-7,4%
Anual	21,1	19,1	-9,3%	11,2	10,0	-10,8%

Fuente: Elaboración propia

De esta manera se extendió y rellenó la estadística de la Estación Río Aconcagua en San Felipe, con lo que se cuenta con un periodo de información 1950-2010. Esta información permite contar con información para realizar un análisis comparativo entre los valores de la estación y los generados por los modelos MOS y MOSAH, de tal manera de estimar los aportes por recuperación que ocurren entre estos dos puntos hasta el periodo más reciente posible.

En el Anexo 3-7 "Modelos de Simulación en Bocatoma Catemu" se encuentra la estadística en detalle de los modelos que generan información en la zona de interés. Se

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

debe aclarar que este nodo no representa una ubicación geográfica fija, y que más bien representa una zona del río Aconcagua. La zona que representa este nodo se puede considerar representativa del sector de bocatoma de los canales del Alto, el Bajo y el Pepino de Catemu. En el Cuadro 3.4.1-3 se muestra la extensión de las estadísticas generadas por los distintos modelos.

El caudal medio anual generado por los modelos muestra un valor más alto en la versión más actual, MOS-DICTUC. En la Figura 3.4.1-2 se muestra la serie temporal de los caudales medio anuales para los tres modelos. Se observa que entre las series existe una diferencia importante en los caudales mínimos: los caudales mínimos del periodo concurrente para el modelo MOSAH y el modelo MOS-DICTUC son similares, mientras que el modelo MOS-AC subestima los caudales generados en la zona por los otros dos modelos.

CUADRO 3.4.1-3
ESTADÍSTICA EN SECTOR
BOCATOMA CATEMU

Fuente	Extensión Estadística (años)	$Q_{MedioAnual}$ (m^3/s)
MOS, DICTUC-2008	1950-2006	27,4
MOS, AC-1997	1950-1996	20,5
MOSAH,1987	1962-1976	20,7

Fuente: Elaboración propia

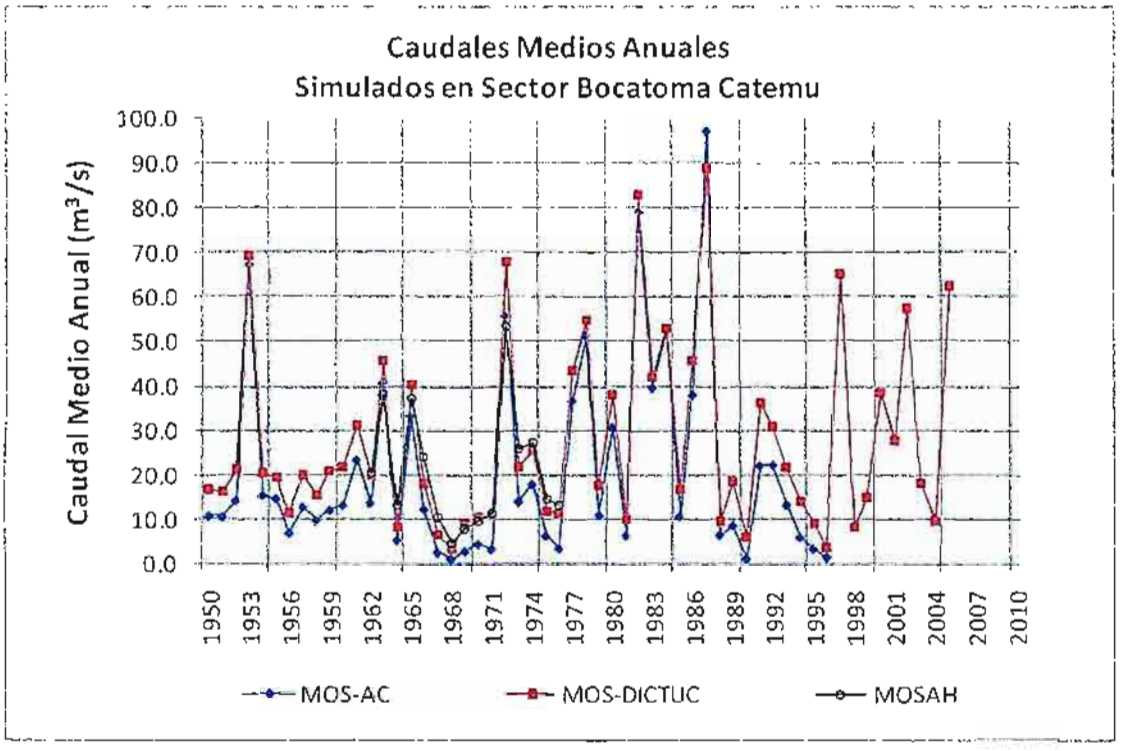
Para estimar los derrames y los aportes de agua subterráneas entre la Estación San Felipe y la Bocatoma de Catemu (Alto, Bajo y Pepino), se realizó una comparación entre los caudales registrados por la estación fluviométrica y los simulados por los distintos modelos. En el Estudio de Prefactibilidad "Consultoría Mejoramiento Canales Catemu, V Región, PROCIVIL Ingeniería Ltda., 1996", se consideró la información del Nodo 14 del modelo MOSAH como representativa del sector de bocatoma de los distintos canales. En dicho estudio se obtuvo la siguiente relación:

$$Q_{Nodo14} = 1{,}297 * Q_{SanFelipe} + 7{,}705 \quad (R^2 = 0{,}966)$$

De esta manera Procivil (1996) estimó las recuperaciones y el afloramiento de agua subterránea en 7,7 m^3/s. Los actuales modelos presentan una variación mensual del aporte de aguas subterráneas, que no es correcto considerarlas constantes durante todo el año. En el Cuadro 3.4.1-4 se muestra el valor de los parámetros de la regresión para los meses Marzo-Octubre, en los que se presentan los caudales más bajos y las recuperaciones toman mayor importancia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.4.1-2
SERIE MENSUAL DE CAUDALES MEDIOS ANUALES
PARA SECTOR DE BOCATOMA EL ALTO, EL BAJO Y EL PEPINO



Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.4.1-4
PARÁMETROS DEL SECTOR BOCATOMA CATEMU

Parámetro	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
α	0,98	1,02	0,95	1,21	1,49	1,13	1,28	1,75
β	2,2	2,2	6,8	5,0	1,4	6,7	7,0	2,5
R^2	0,901	0,858	0,802	0,789	0,785	0,914	0,842	0,845

Fuente: Elaboración propia

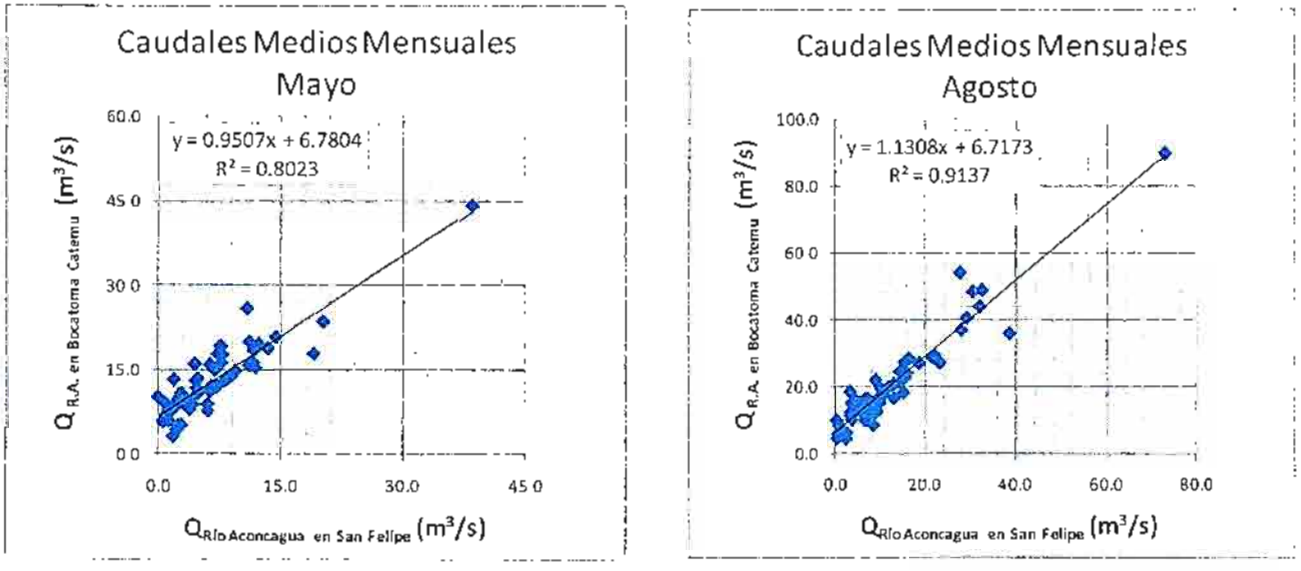
Para los meses de Noviembre-Febrero se presentan caudales más altos, producto del deshielo, siendo estos los que tienen mayor influencia en los parámetros de la regresión, en este caso el valor de caudal que cruza al eje 'y', representado por el factor β, no se considera representativo para estimar las recuperaciones entre el tramo del Rio Aconcagua en San Felipe y el sector de Bocatoma. El detalle de todas estas correlaciones puede verse en el Anexo 3-8 "Caudales Medios Sector Bocatoma".

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En general se observa que el aporte de aguas subterráneas tiene un efecto importante entre Mayo y Octubre. En la Figura 3.4.1-3 se muestran los meses Mayo y Agosto, en los que se observa de manera más clara estos aportes, se aprecia que aunque la Estación de San Felipe registre caudales nulos, o cercanos a cero, en el sector de Bocatoma Catemu sí existen aportes debido al afloramiento de aguas subterráneas y recuperaciones.

Al correlacionar los valores del Modelo MOS-AC (1997) y la Estación Río Aconcagua en San Felipe, se estiman afloramientos mucho menores, dado que existen varios meses en la estadística que presentan valores muy bajos o nulos, en el Anexo 3-8 "Caudales Medios Sector Bocatoma" se observan estos gráficos en detalle. De esta manera se considera con una representación más realista y actualizada los valores presentados por la simulación del Modelo MOS-DICTUC (2005).

FIGURA 3.4.1-3
CORRELACIÓN CAUDALES ACONCAGUA EN SAN FELIPE Y MOS



Fuente: Elaboración propia

Finalmente se procede a extender la información hasta el año hidrológico 2010-11, mediante las correlaciones obtenidas entre los caudales generados en el Nodo 12 por el Modelo MOS-DICTUC y la Estación Río Aconcagua en San Felipe. En el Cuadro 3.4.1-5 se muestra el cambio en los parámetros al extender la estadística en el que no se aprecian cambios importantes al actualizar la información.

Se observa una variación menor en cuanto a caudales medios mensuales, un 1% del caudal anual, y una disminución menor la desviación estándar, del 2.6%. De esta manera con la estadística del Nodo 12 actualizada (1950-2010) se procede a la estimación de los caudales medios mensuales asociados a distintas probabilidades de excedencias.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el Cuadro 3.4.1-6 se muestran los valores de caudales del sector de Bocatoma de Catemu, asociados a distintas probabilidades de excedencia. En la Figura 3.4.1-4 se muestra la curva de variación estacional, en la que se observa el caudal máximo producto de los deshielos durante el mes de diciembre y los caudales más bajos durante el periodo pluvial.

CUADRO 3.4.1-5
VARIACIÓN CAUDAL MEDIO Y DESVIACIÓN ESTANDAR DE VALORES GENERADOS POR MOS-DICTUC (1950-2006) Y ESTACIÓN R. A. EN SAN FELIPE (1950-2010)

Mes/Anual	Q_{Medio} (m^3/s)		ΔQ	σ		Δσ
	Sin Relleno	Con Relleno		Sin Relleno	Con Relleno	
Enero	8,5	8,4	-0,8%	6,6	6,3	-3,8%
Febrero	13,4	13,4	-0,1%	6,6	6,4	-2,0%
Marzo	18,6	18,6	0,0%	13,4	13,2	-1,2%
Abril	20,4	20,3	-0,7%	16,7	16,5	-1,0%
Mayo	21,0	20,8	-1,1%	14,7	14,3	-2,7%
Junio	20,9	20,8	-0,5%	15,2	14,7	-3,5%
Julio	27,7	28,0	0,1%	22,9	22,6	-1,3%
Agosto	52,5	53,0	0,9%	41,9	41,7	-0,4%
Septiembre	69,2	68,1	-1,6%	68,2	66,2	-2,9%
Octubre	44,2	43,0	-2,7%	51,0	49,2	-3,5%
Noviembre	20,7	19,9	-4,0%	23,1	22,3	-3,3%
Diciembre	11,9	11,6	-2,4%	10,7	10,3	-3,5%
Anual	27,4	27,2	-1,0%	21,0	20,4	-2,6%

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.4.1-6
CAUDAL EN BOCATOMA CANAL EL ALTO, EL BAJO Y EL PEPINO (m^3/s)

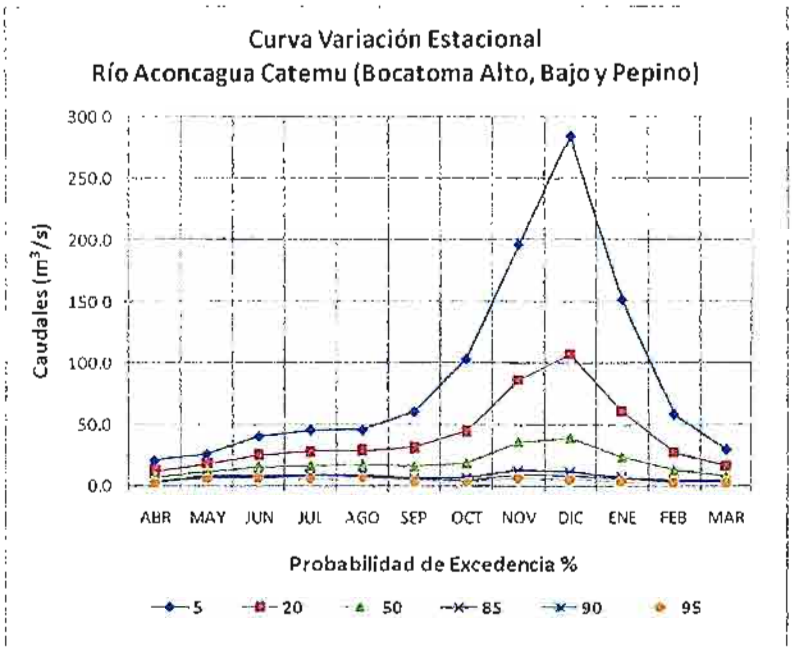
P_{exc} %	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	VER	ANUAL
5	20,7	25,8	40,4	45,6	45,6	60,8	103,3	196,0	283,8	151,7	58,5	30,0	120,7	72,9
20	12,0	17,9	25,3	27,7	28,5	31,5	44,5	85,6	107,3	60,8	27,2	16,2	52,2	39,4
50	6,7	12,1	15,5	16,5	17,4	15,8	18,4	35,9	38,7	23,3	12,2	8,5	21,7	20,7
85	3,3	7,5	8,5	8,7	9,5	6,7	6,2	12,3	11,0	7,2	4,6	3,9	7,3	9,3
90	2,79	6,74	7,34	7,46	8,25	5,51	4,80	9,57	8,21	5,42	3,60	3,20	5,69	7,7
95	2,17	5,71	5,94	5,96	6,67	4.09	3,28	6,58	5,29	3,59	2,55	2,42	3,89	5,9

Fuente: Elaboración propia

El caudal asociado al mes de máxima demanda hídrica corresponde al mes de Febrero, en el que $Q_{85\%}$ corresponde a 4,6 m^3/s y el $Q_{50\%}$ a 12,2 m^3/s. En la Figura 3.4.1-5 se muestra la Curva de Duración de Caudales para el Mes de Febrero y en la Figura 3.4.1-6 se muestra la Curva de Duración para el periodo estival y anual. En el Anexo 3-9 "Curva de Variación Estacional" aparece el detalle de todos los meses.

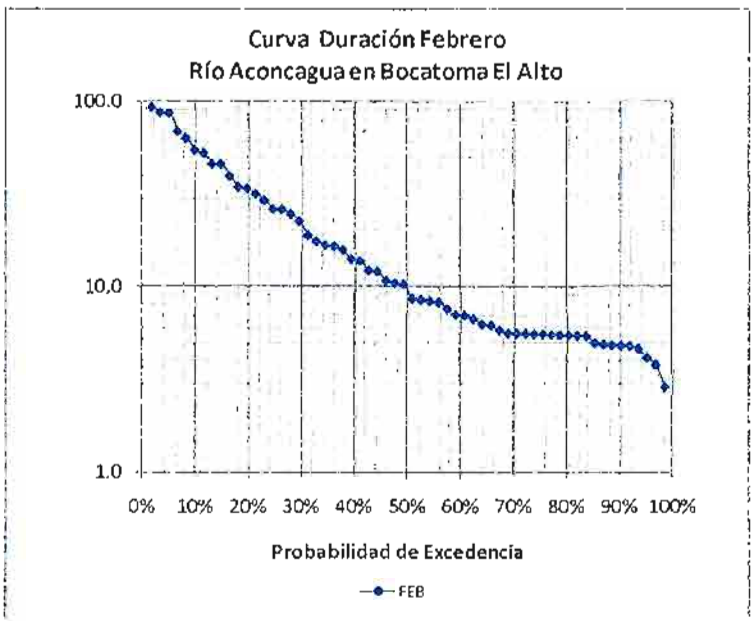
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.4.1-4
CORRELACIÓN CAUDALES ACONCAGUA EN SAN FELIPE Y MOS



Fuente: Elaboración propia

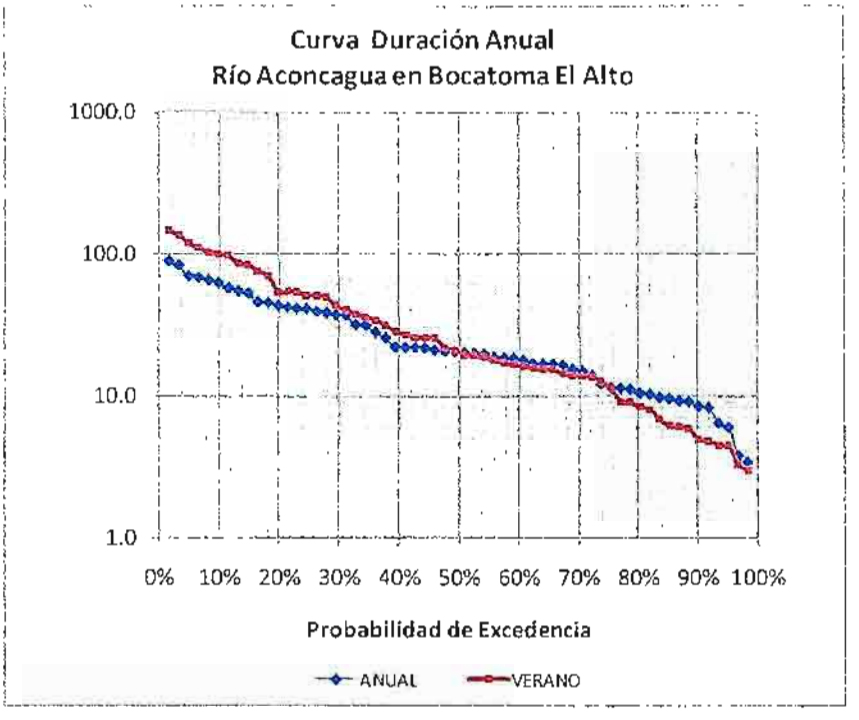
FIGURA 3.4.1-5
CURVA DE DURACIÓN MES DE FEBRERO



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniena cl

FIGURA 3.4.1-6
CURVA DE DURACIÓN DE CAUDALES VERANO Y ANUAL



Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Precipitaciones Máximas

Para estimar las precipitaciones máximas en la zona de estudio se procedió a recopilar la información de registros de estaciones pluviométricas. En el Cuadro 3.4.2-1se muestran las estaciones con longitud y estadística representativa. En el Anexo 3-10 "Precipitaciones Máximas" aparecen los registros en detalle.

CUADRO 3.4.2-1
EXTENSIÓN DE REGISTROS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS

Estación Pluviométrica	Extensión del Registro
Catemu	1959-2010
Tartaro	1990-2010
Jahuel	1989-2010
Pataguas	1979-2010
Cerro Negro	1979-2010

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail. oficina@arrauingenieria.cl

Se realizó un análisis de frecuencia a las precipitaciones máximas con el fin de estimar los valores asociados a periodos de retorno de 5, 10, 20 y 50 años. Este análisis de frecuencia se realizó mediante el Software Safarhy. Se aplicó un ajuste considerando las siguientes distribuciones teóricas:

- Normal
- LogNormal
- Gamma
- Gumbel

En el Anexo 3-10 (Precipitaciones Máximas) se muestran los resultados de cada ajuste en forma gráfica y los distintos distribuciones teóricas en escala probabilística, también aparecen los resultados del Test de Bondad de Ajuste χ^2.

CUADRO 3.4.2-2
EXTENSIÓN DE REGISTROS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS

Estación	Pp Max 24 h (mm)			
	T = 5 años	T = 10 años	T = 20 años	T = 50 años
Catemu	56	68	79	94
Tartaro	59	72	86	105
Jahuel	57	69	80	95
Pataguas	83	106	129	163
Cerro Negro	54	68	82	102

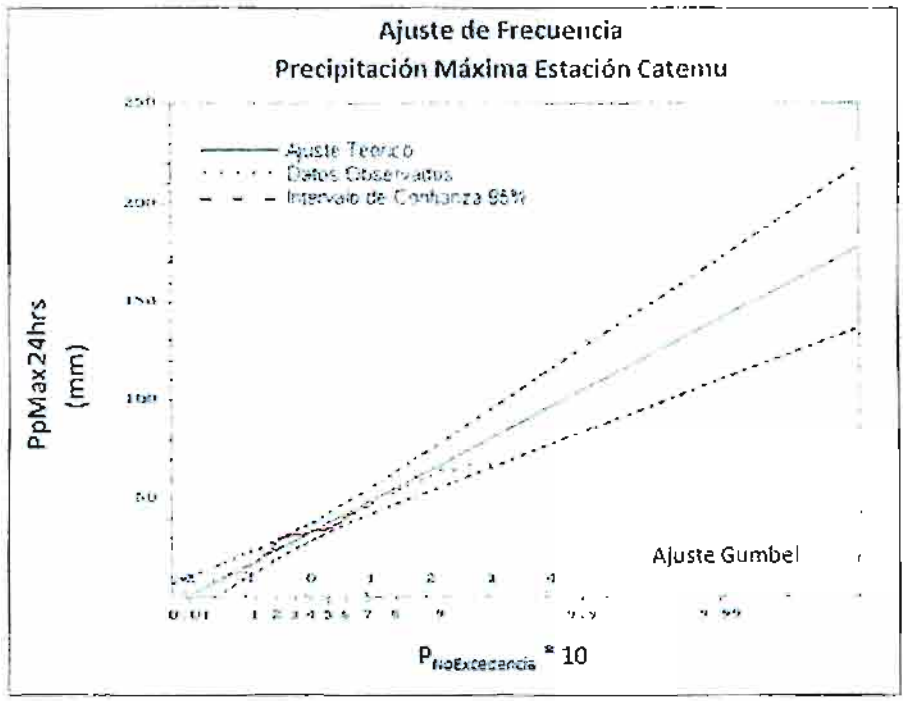
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.4.2-1 se muestra el ajuste teórico y los intervalos de confianza asociados al 95% para la Estación Pluviométrica de Catemu, todos los archivos de salida se presentan en este formato en el Anexo 3-10.

Al comparar las precipitaciones del Cuadro 3.4.2-2 con la información del estudio de Precipitaciones Máximas DGA, 1987. Se observa que no existe una diferencia de gran relevancia en cuanto a los valores máximos. En la Cuadro 3.4.2-3 se muestra la estación Catemu y la comparación con respecto a los valores del estudio DGA, 1987. La zona de estudio se ubica en la zona V.4, que corresponde a la zona de Aconcagua Interior.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.4.2-1
AJUSTE DE FRECUENCIA MEDIANTE DISTRIBUCIÓN GUMBEL
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA DE CATEMU



Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.4.2-3
EXTENSIÓN DE REGISTROS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS

T años	CF*	DGA Pp_{Max}(*) PpMax24hrs mm	Catemu PpMax24hrs mm	Adoptado PpMax24hrs mm
5	0,817	57	56	56
10	1,000	70	68	68
20	1,180	83	79	79
50	1,425	100	94	94

(*) DGA, 1987
Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Estimación de Crecidas en Cruce de Quebradas

En el Cuadro 3.4.3-1 y en la Figura 3.4.3-1 se presentan los puntos de cruces de quebrada que fueron identificados como puntos de interés, en lo que se generan problemas

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

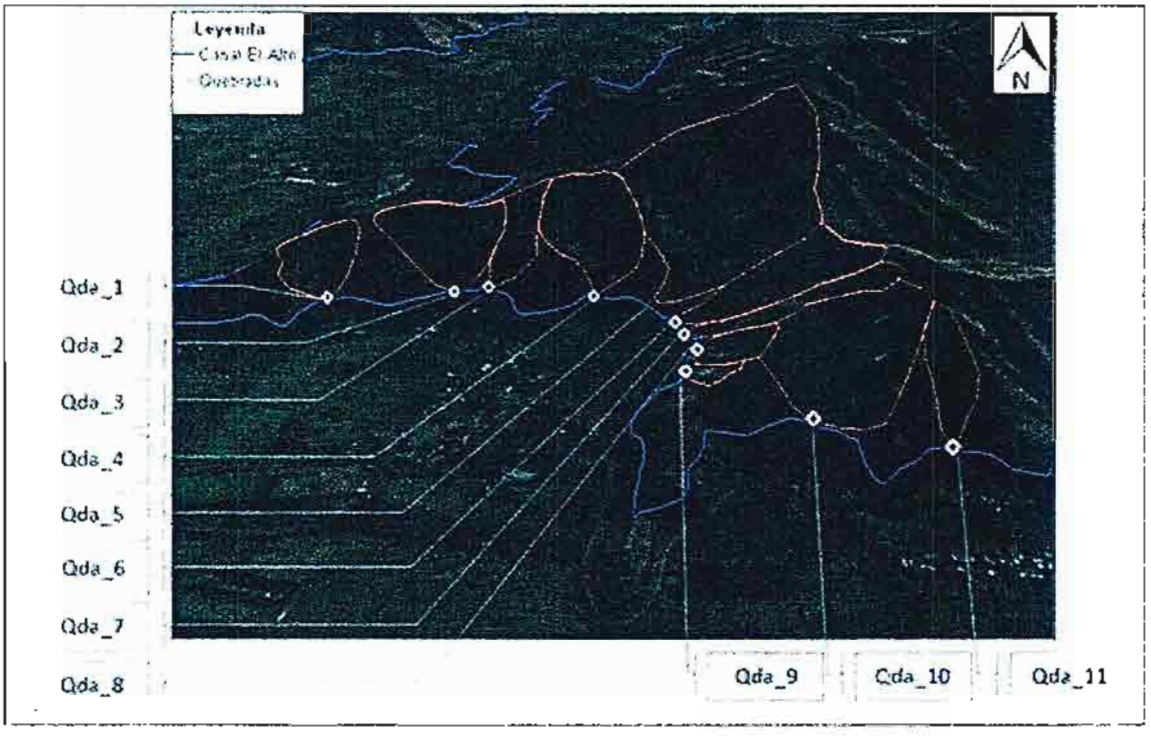
con las descargas de aguas lluvias en el Canal El Alto, presentando embanques que deben ser retirados posteriormente para regularizar el funcionamiento de los canales.

CUADRO 3.4.3-1
CRUCES DE QUEBRADAS CON EL CANAL EL ALTO

Codificación	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Codificación	UTM Este (m)	UTM Norte (m)
Qda_1	318.119	6.372.458	Qda_6	319.563	6.372.324
Qda_2	318.624	6.372.551	Qda_7	319.598	6.372.234
Qda_3	318.768	6.372.569	Qda_8	319.646	6.372.110
Qda_4	319.220	6.372.513	Qda_9	319.602	6.371.971
Qda_5	319.477	6.372.493	Qda_10	320.026	6.371.690
			Qda_11	320.444	6.371.544

Nota: Coordenadas en UTM 19 Sur, Datum WGS84
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.4.3-1
CRUCES DE QUEBRADAS CON EL CANAL EL ALTO



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail. oficina@arrauingenieria.cl

En la Figura 3.4.3-2 se muestran las quebradas que generan mayor aporte de aguas lluvias al Canal El Alto. En el Cuadro 3.4.3-2 se muestra las características de cuencas afluentes en los puntos de quebradas.

FIGURA 3.4.3-2
CRUCES DE QUEBRADAS DE MAYOR APORTE AGUAS LLUVIAS
QDA_5 (IZQUIERDA) Y QDA_6 (DERECHA)

CUADRO 3.4.3-2
CARACTERÍSTICAS DE LAS DISTINTAS QUEBRADAS

Quebrada	Área Aportante (ha)	Altura Mínima (m.s.n.m.)	Altura Máxima (m.s.n.m.)	Largo Cauce (m)
Qda_1	8,4	519	689	229
Qda_2	18,1	521	725	277
Qda_3	9,2	523	763	370
Qda_4	23,2	525	776	566
Qda_5	86,9	513	1056	1309
Qda_6	18,7	511	790	609
Qda_7	10,2	510	824	295
Qda_8	6,3	509	649	204
Qda_9	2,3	524	598	120
Qda_10	23,1	520	853	470
Qda_11	4,7	524	800	268

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 3-11 se presenta un álbum fotográfico con las distintas quebradas en los puntos de cruce con el Canal Arriba de Catemu.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail. oficina@arrauingenieria.cl

Otro parámetro de importancia corresponde al tiempo de concentración asociado a cada quebrada. Este parámetro representa el tiempo que tarda en recorrer la partícula de agua más alejada hasta el punto de desembocadura. A continuación se muestra la expresión de California, que corresponde a la más utilizada y adecuada para la zona de estudio según el tamaño de las quebradas, en este caso menores a 90 ha.

Fórmula de California Highways:

$$Tc = 0.95\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Donde

T_c: tiempo de concentración en (horas)

L: longitud del cauce principal (km)

H: diferencia de nivel entre la cota más alta y el punto de salida de la cuenca (m).

En el Cuadro 3.4.3-3 se presentan los valores de tiempo de concentración para cada quebrada. El valor mínimo se adoptó en 5 min, debido a que el nivel de incertidumbre asociado a este parámetro aumenta considerablemente para tiempos muy pequeños.

CUADRO 3.4.3-3
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN ASOCIADO A LAS DISTINTAS QUEBRADAS

Quebrada	Tc Calculado (min)	Tc Adoptado (min)
Qda_1	1,4	5,0
Qda_2	1,7	5,0
Qda_3	2,2	5,0
Qda_4	3,5	5,0
Qda_5	6,9	6,9
Qda_6	3,7	5,0
Qda_7	1,5	5,0
Qda_8	1,4	5,0
Qda_9	0,9	5,0
Qda_10	2,5	5,0
Qda_11	1,4	5,0

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Con esta información se procede a calcular los caudales de crecida asociados a períodos de retorno de 5,10, 20 y 50 años, mediante las formulas propuestas por el Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica (DGA, 1995).

3.4.3.1. Formula Racional

La Fórmula Racional permite estimar caudales de crecida en zonas sin información fluviométrica, corresponde a una de las expresiones más utilizadas en estudios hidrológicos. Se define de la siguiente forma:

$$Q = \frac{C\ i\ A}{3{,}6}\ (\frac{m^3}{s})$$

Donde:

Q: caudal de escorrentía directa asociado al periodo de retorno T (m^3/s)

T: periodo de retorno evento hidrológico (años)

i: intensidad de precipitación asociada al periodo de retorno T (mm/h)

A: área pluvial aportante a la cuenca (km^2)

C: coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía se estima a partir de un coeficiente de escorrentía según el tipo de suelo en la zona. En el Cuadro 3.4.3.1-1 se muestra el valor de los coeficientes de escorrentía adoptados según V.T.Chow.

CUADRO 3.4.3.1-1
COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA PARA
ZONAS CON VEGETACIÓN ESCASA Y ALTA PENDIENTE

Coeficiente de Escorrentía	T=5	T=10	T=20	T=50
C	0,40	0,42	0,45	0,49

Fuente: ccc

La intensidad se asocia al tiempo de concentración y al periodo de retorno. Para estimar la precipitación asociada al tiempo de concentración se utiliza la expresión de Grunsky, que se define como:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$i_{tc} = \frac{Pp24hrs}{24}\sqrt{\frac{24}{tc}}$$

Donde:

I_{tc}: Intensidad máxima asociada a un periodo de retorno (mm/h)

Pp24hrs: Precipitación Máxima en 24 h asociada a un periodo de retorno T (mm)

t_c: tiempo de concentración (h)

En el Cuadro 3.4.3.1-2 se muestran los valores de intensidad obtenidos para cada quebrada.

CUADRO 3.4.3.1-2
INTENSIDAD MÁXIMA ASOCIADA A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Quebrada	Itc (mm/h)			
	T=5	T=10	T=20	T=50
Qda_1	39,3	47,7	55,8	66,3
Qda_2	39,3	47,7	55,8	66,3
Qda_3	39,3	47,7	55,8	66,3
Qda_4	39,3	47,7	55,8	66,3
Qda_5	33,5	40,6	47,5	56,4
Qda_6	39,3	47,7	55,8	66,3
Qda_7	39,3	47,7	55,8	66,3
Qda_8	39,3	47,7	55,8	66,3
Qda_9	39,3	47,7	55,8	66,3
Qda_10	39,3	47,7	55,8	66,3
Qda_11	39,3	47,7	55,8	66,3

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 3.4.3.1-3 se presentan los valores de caudal máximo obtenidos mediante la fórmula racional para los distintos cruces de quebradas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.4.3.1-3
CAUDALES MÁXIMOS EN PUNTOS DE QUEBRADA
SEGÚN FORMULA RACIONAL

Quebrada	Q(m^3/s)			
	T=5	T=10	T=20	T=50
Qda_1	0,37	0,47	0,59	0,76
Qda_2	0,79	1,01	1,26	1,63
Qda_3	0,40	0,51	0,64	0,83
Qda_4	1,01	1,29	1,62	2,09
Qda_5	3,23	4,12	5,16	6,67
Qda_6	0,82	1,04	1,30	1,69
Qda_7	0,45	0,57	0,71	0,92
Qda_8	0,28	0,35	0,44	0,57
Qda_9	0,10	0,13	0,16	0,21
Qda_10	1,01	1,29	1,61	2,08
Qda_11	0,21	0,26	0,33	0,42

Fuente: Elaboración propia

3.4.3.2. Formula Verni-King

Este método está basado en la fórmula de Verni y King, que relaciona el caudal instantáneo máximo de una crecida con la precipitación diaria máxima y el área pluvial a través de una relación de potencias.

$$Q_T = C \cdot 0{,}00615\, P_{24}^{1.24}\, A^{0.88}$$

Donde

Q_T: caudal de escorrentía directa asociado al periodo de retorno T (m^3/s)

T: periodo de retorno evento hidrológico (años)

P_{24}: precipitación de duración 24 h de periodo de retorno T (mm).

A: área pluvial aportante a la cuenca (km^2)

C: coeficiente de escorrentía

En el Cuadro 3.4.3.2-1 se muestran los valores obtenidos mediante esta metodología para los distintos cruces de quebrada.

Si bien los resultados de esta expresión provienen del ajuste de datos empíricos, se recomienda su uso sólo para periodos de retorno mayores a 50 años, ya que para periodos de retorno bajo el error en la estimación puede ser muy grande.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.4.3.2-1
CAUDALES MÁXIMOS EN PUNTOS DE QUEBRADA
SEGÚN FORMULA DE VERNI KING

Quebrada	Q (m^3/s)			
	T=5	T=10	T=20	T=50
Qda_1	0,10	0,13	0,16	0,19
Qda_2	0,20	0,25	0,31	0,38
Qda_3	0,11	0,14	0,17	0,21
Qda_4	0,25	0,32	0,38	0,47
Qda_5	0,79	1,01	1,22	1,52
Qda_6	0,21	0,26	0,32	0,39
Qda_7	0,12	0,15	0,19	0,23
Qda_8	0,08	0,10	0,12	0,15
Qda_9	0,03	0,04	0,05	0,06
Qda_10	0,25	0,31	0,38	0,47
Qda_11	0,06	0,08	0,09	0,12

Fuente: Elaboración propia

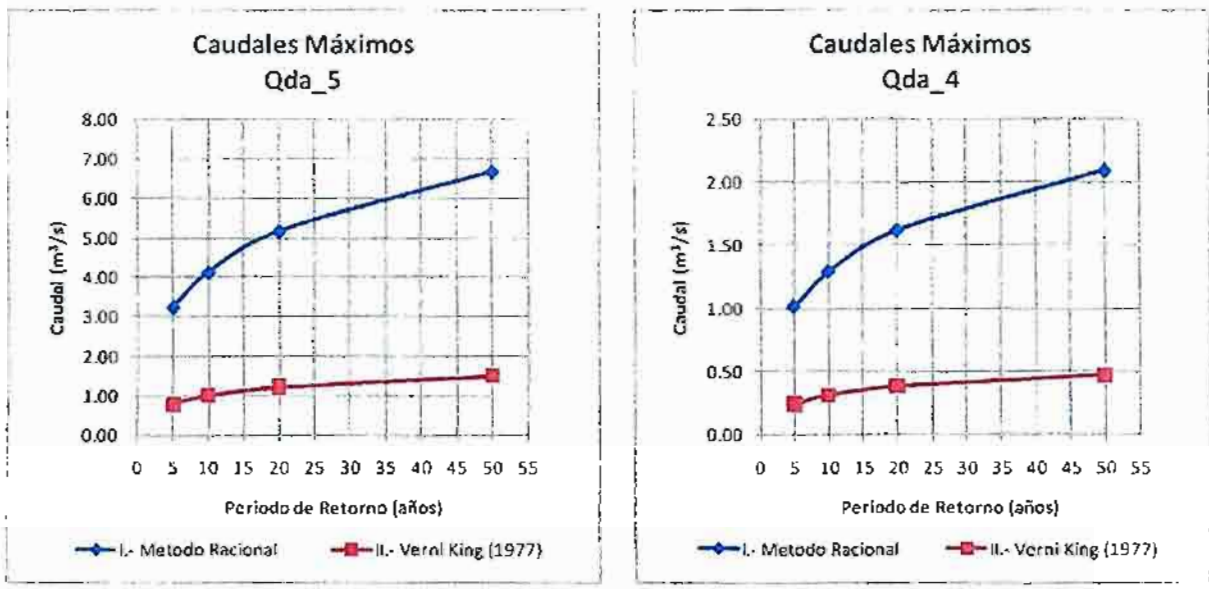
3.4.3.3. Conclusión de Caudales Máximos asociados a Cruces de Quebradas

Según los valores obtenidos de la expresión Racional y de Verni King se observan diferencias grandes, en las que el caudal máximo obtenido mediante Verni King subestima en gran forma el obtenido mediante el método racional. En la Figura 3.4.3.3-1 se muestra los valores de caudal máximo para las quebradas de mayor tamaño, Qda_5 y Qda_4. En el Anexo 3-12 "Caudales Máximos Quebradas" aparecen los gráficos para todas las quebradas en detalle.

En el Cuadro 3.4.3.3-1 se muestran los valores adoptados, que corresponden a los obtenidos por la Formula Racional. Se desecha el método de Verni King ya que el error que se comete en cuencas de menor tamaño y para periodos de retorno bajos es muy alto.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.4.3.3-1
CAUDALES MÁXIMOS EN PUNTOS DE QUEBRADA
SEGÚN FORMULA RACIONAL Y VERNI KING



Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.4.3.3-1
CAUDALES MÁXIMOS ADOPTADOS EN PUNTOS DE QUEBRADA

Quebrada	Q(m³/s)			
	T=5	T=10	T=20	T=50
Qda_1	0,37	0,47	0,59	0,76
Qda_2	0,79	1,01	1,26	1,63
Qda_3	0,40	0,51	0,64	0,83
Qda_4	1,01	1,29	1,62	2,09
Qda_5	3,23	4,12	5,16	6,67
Qda_6	0,82	1,04	1,30	1,69
Qda_7	0,45	0,57	0,71	0,92
Qda_8	0,26	0,35	0,44	0,57
Qda_9	0,10	0,13	0,16	0,21
Qda_10	1,01	1,29	1,61	2,08
Qda_11	0,21	0,26	0,33	0,42

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

3.4.4. Caudales Máximos en Bocatoma

Los caudales máximos en el Ric Aconcagua en el Sector de Bocatoma del Canal El Alto, El Bajo y el Pepino se pueden estimar mediante los caudales máximos registrados por la estación Río Aconcagua en San Felipe. Se realizó un análisis de los caudales máximos en esta estación y posteriormente se realizó una trasposición de áreas. En el Anexo 3-13 "Caudales Máximo en San Felipe", se muestran los registros en detalle y los resultados del Ajuste de Frecuencia obtenidos mediante el Software Safarhy.

En el Cuadro 3.4.4-1 se muestran los caudales de crecida obtenidas mediante el ajuste de frecuencia para la Estación Río Aconcagua en San Felipe.

CUADRO 3.4.4-1
CAUDALES MÁXIMOS EN RÍO ACONCAGUA EN SAN FELIPE

T	Caudal Máximo (m^3/s)			
(años)	Normal	LogNormal	Gamma	Gumbel
2	150,9	116,2	124,1	132,4
5	245,4	225,4	228,6	231,7
10	294,9	316,2	300,7	297,5
25	347,6	452,0	391,8	380,5
50	381,7	568,6	458,7	442,1
100	412,3	698,4	524,4	503,3

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 3.4.4-2 se muestran los valores de χ^2 para los distintos ajustes. En este cuadro se observa que los ajustes teóricos LogNormal y Gumbel son lo que dan un mejor ajuste para niveles de significancia del 1% y 5%. Si la razón entre el χ^2 observado y el χ^2 teórico es menor que 1 se acepta la hipótesis.

CUADRO 3.4.4-2
COMPARACIÓN DE χ^2

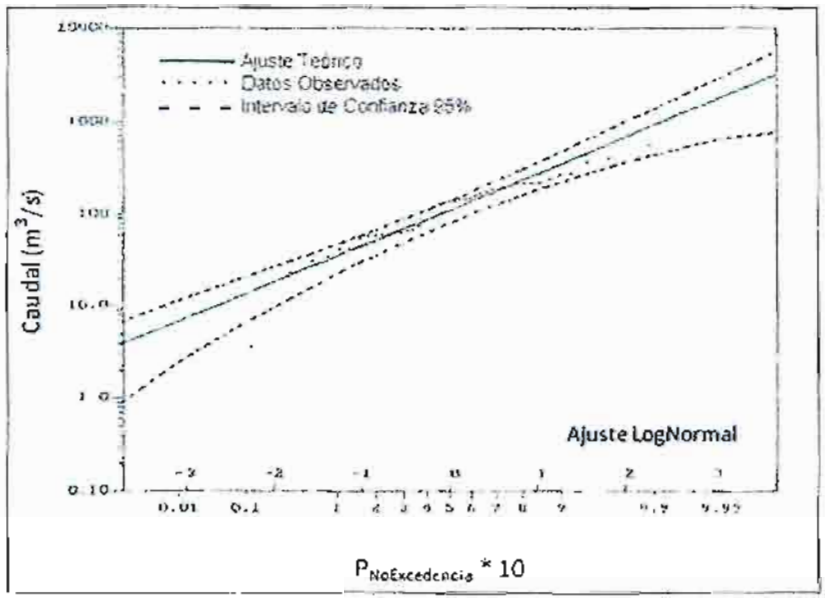
Ajuste	χ^2 Observado/χ^2 Teórico	
Frecuencia	1%	5%
Normal	1,63	2,22
LogNormal	0,66	0,91
Gamma	0,74	1,01
Gumbel	0,69	0,94

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se adopta la distribución Log Normal, ya que además de ser aceptada mediante el Test de Bondad de Ajuste, presenta un buen ajuste grafico, tal como se muestra en la Figura 3.4.4-1.

FIGURA 3.4.4-1
AJUSTE LOG NORMAL PARA CAUDALES MÁXIMOS EN RÍO ACONCAGUA EN SAN FELIPE



Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.4.4-3
CAUDALES MÁXIMOS EN RÍO ACONCAGUA EN BOCATOMA EL ALTO, EL BAJO Y EL PEPINO

T (años)	Q (m^3/s)
2	182
5	354
10	496
25	710
50	893
100	1.096

Fuente: Elaboración propia

El área asociada a la Estación San Felipe corresponde a 3.005 km^2 y el área asociada al sector de Bocatoma El Alto corresponde a 4.745 km^2, por lo que el factor de

trasposición de área corresponde 1,57. De esta manera se obtiene el caudal de crecida asociado al sector de bocatoma.

3.4.5. Estudio de Afloramientos

3.4.5.1. Generalidades

La segunda sección del Río Aconcagua cuenta con un aporte de caudales provenientes de recuperaciones y afloramientos de agua subterránea que en meses estivales toma gran importancia con respecto al caudal total del río en la zona, ya que aporta un caudal constante en años secos. La zona del Río Aconcagua ubicada entre la actual bocatoma del Canal Arriba Catemu y la bocatoma unificada de los Canales Abajo, Pepino y Mercedes, presenta un caudal en el que se puede identificar los siguientes componentes:

- Caudal extraído por los canales en la zona
- Caudal proveniente de recuperaciones del riego en la zona
- Caudal de infiltración en el tramo del Río Aconcagua.
- Caudal proveniente de afloramientos

La zona de afloramientos permite obtener un caudal adicional que se puede captar la actual Bocatoma Unificada de los Canales Abajo Catemu, Pepino y Mercedes.

Se consideró una revisión de los siguientes estudios:

- **Modificación Modelos DGA VISUAL MODFLOW-MOS Y MOS-PS Para Determinación Disponibilidad Real de Aguas Subterráneas en Valle del Aconcagua".** DICTUC, Universidad Católica, 2008. Dirección de Obras Hidráulicas V Región.

- **"Estudio y Modelo de Simulación Hidrogeológico Zona Desembocadura del Río Aconcagua"** AC Ingenieros Ltda. 1997. Dirección General de Aguas.

La información proporcionada por ambos estudios sólo permite estimar el comportamiento de los caudales en forma general en la zona, por lo que se realizó de manera complementaria una campaña de terreno para determinar de mejor manera el caudal proveniente de los afloramientos en la zona.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria cl

3.4.5.2. Antecedentes de Caudales de Afloramientos

En el estudio de AC-DGA (1997) se identificaron dos vertientes en la zona de estudio y se realizó una estimación de los caudales de recuperación de la segunda sección del Río Aconcagua. En la Figura 3.4.5.2-1 se muestra un esquema de la segunda sección y de la zona de afloramiento ubicada en el área de estudio.

Se realizaron aforos en las vertientes identificadas como N11 y N17 con el fin de cuantificar los aportes de ambos caudales al río. En el Cuadro 3.4.5.2-1 se muestra la información de caudales aforados por AC-DGA, 1997.

CUADRO 3.4.5.2-1
CAUDALES AFORADOS EN ZONA DE AFLORAMIENTOS

Código Afloramientos	Fecha	Caudal (m^3/s)
N 11	31/Oct/1996	0,283
N 17	31/Oct/1996	0,178
$Q_{VertTot}$		**0,461**

Fuente: DGA-AC, 1997

Mediante una campaña de aforos simultáneos se estimó, en base a un balance realizado en la segunda sección, el caudal asociado a recuperaciones de los canales. Se obtuvo un caudal de 14,089 m^3/s (Octubre-1996), tal como se muestra en el Cuadro 3.4.5.2-2.

CUADRO 3.4.5.2-2
CUADRO BALANCE DE RECUPERACIONES EN SEGUNDA SECCIÓN

Cauce o Canal	Nombre	Fechas Aforos	Gasto m^3/s	Balance
Extracción Canales	Extracción Canales	30/Oct/1996-01/Nov/1996	14,017	$(+)Q_{ExtCanales}$
Esteros	Esteros Lo Campo, Los Loros, Las Vegas, Catemu	30/Oct/1996-01/Nov/1996	1,943	$(-)Q_{Esteros}$
Río	Aconcagua en Romeral	30/Oct/1996-01/Nov/1996	2,015	$(+)Q_{Salida}$
	Aconcagua en Puente del Rey	30/Oct/1996-01/Nov/1996	≈ 0,0 (seco)	$(-)Q_{Ingreso}$
Balance Recuperaciones en 2da Sección Río Aconcagua			14,089	

Fuente: DGA-AC, 1997

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La estimación de este caudal permitió implementar y calibrar el comportamiento del acuífero Aconcagua-Catemu, indicado en la Figura 3.4.5.2-2, con el modelo MOS-AC. Con el fin de complementar esta información también se realizó una segunda campaña de aforos en la que se obtuvo un caudal proveniente de recuperaciones de 7,724 m^3/s, representativo del mes de Enero de 1997.

El modelo MOS-AC, entrega además los valores de los nodos 12 y 16, representativos de la zona de estudio. Al realizar una correlación entre estos dos nodos se puede estimar el aporte subterráneo y de recuperaciones entre ambos nodos, lo que se puede considerar como un caudal global, que incluye aportes por afloramiento y por recuperaciones de las zonas de riego. En la Figura 3.4.5.2-3 se muestra los gráficos con la información de caudales entre los nodos 16 y 12, para los meses de invierno (superior-izquierda), para los meses de verano (superior-derecha) y para los promedios anual y de verano.

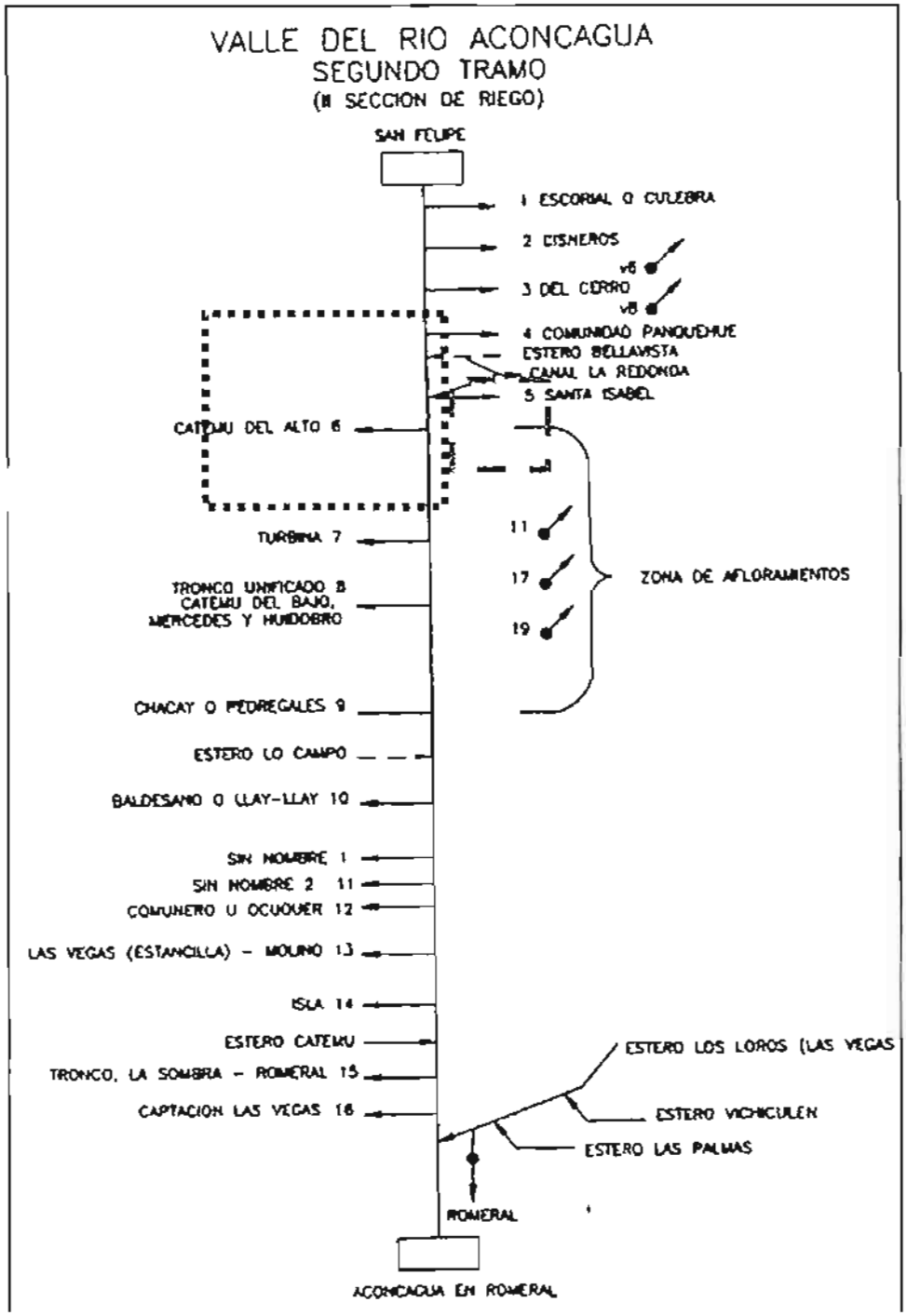
En la correlación para los meses de invierno, se observa que cuando existen caudales menores a 7 m^3/s en el nodo 12, se obtiene un caudal constante entre 5 m^3/s y 6 m^3/s en el nodo 16; en este gráfico los meses de abril representan valores mucho menores, sin embargo se debe tener en cuenta que el mes de abril corresponde al inicio del año hidrológico en la modelo MOS-AC, por lo que este valor podría verse afectado al ser el mes de inicio en la modelación. En la correlación de los meses de verano se observa un valor constante del nodo 16 entre los 4 m^3/s y los 6 m^3/s, cuando el nodo 12 presenta valores menores a 7 m^3/s. Por último en la correlación de los promedios anuales y de verano se observa que por lo menos se estima un aporte de caudal de 4 m^3/s, que corresponde a un global entre los aportes de caudales de recuperación y afloramientos en este tramo.

El modelo MOS-AC asocia la segunda sección del Río Aconcagua al acuífero 03 (ACC-03). En la Figura 3.4.5.2-4 se observa la estadística del modelo MOS-AC representativa de los afloramientos del modelo en toda la segunda zona del río Aconcagua. En ella se observa que el caudal total de la segunda sección presenta variaciones entre los 11 m^3/s y los 5 m^3/s. Se debe tener en cuenta que este caudal es representativo de toda la segunda sección, por lo que sólo una parte de este caudal corresponde al tramo entre los nodos 12 y 16. De esta manera se obtiene los caudales subterráneos representativos de la segunda sección, y de una zona más especifica, comprendida entre los nodos 12 y 16.

En el estudio de actualización cel modelo MOS del Aconcagua, realizado por el DICTUC 2008 se muestra un resumen de los caudales de todos los acuíferos considerados en la modelación, tal como se observa en el Cuadro 3.4.5.2-3. En este cuadro se observa que en promedio el caudal afluente al Aconcagua en la segunda sección se estima de 7,603 m^3/s. Considerando esta información se realizaron campañas de aforo, con el fin de estimar de manera más precisa los caudales afluentes entre los puntos de bocatoma del canal Arriba Catemu y bocatoma unificada de los canales Abajo, Pepino y Mercedes. Los antecedentes recopilados se presentan en el Anexo 3-14.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

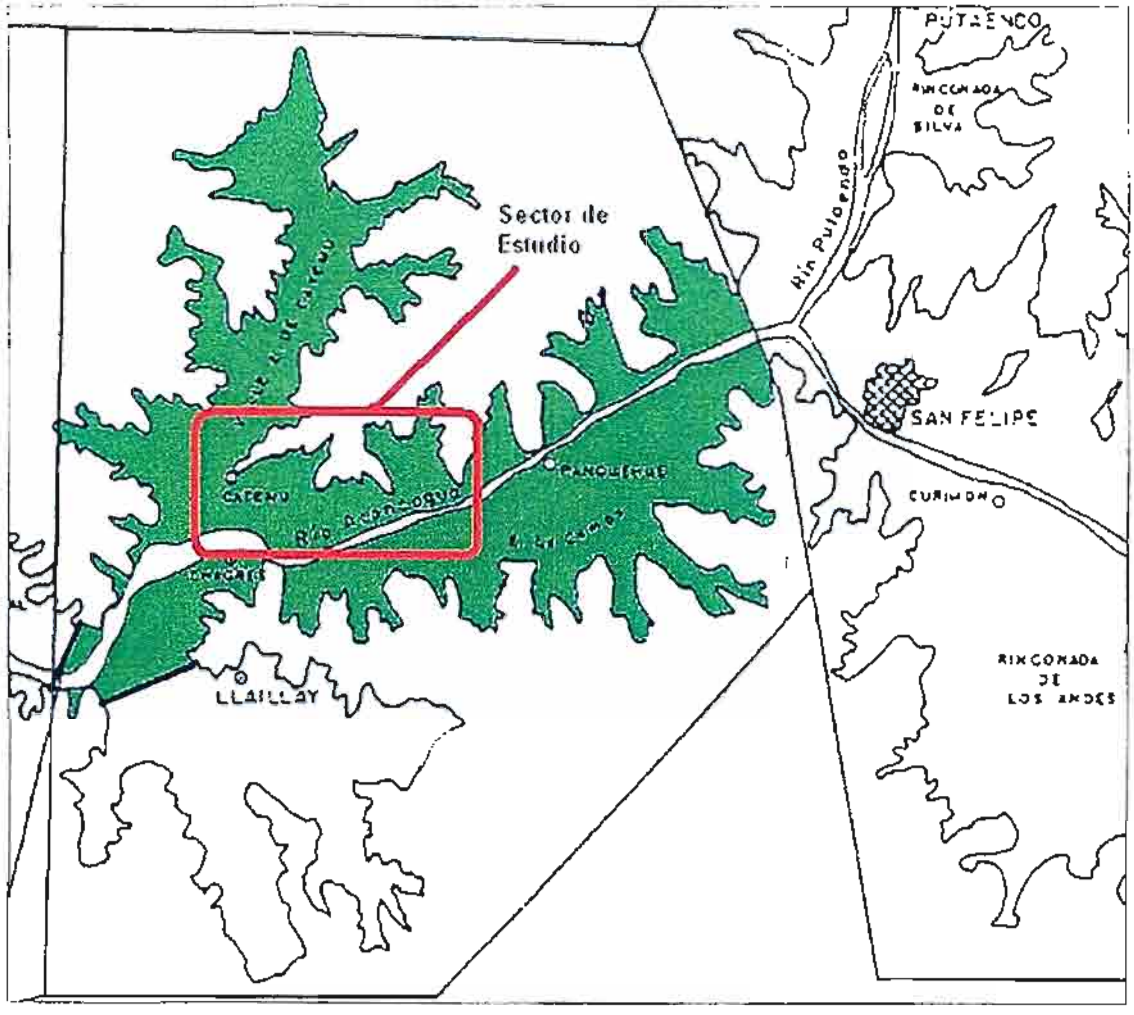
FIGURA 3.4.5.2-1
CAUDALES DE AFLORAMIENTO ENTRE BOCATOMA ALTO CATEMU Y BOCATOMA UNIFICADA ABAJO DE CATEMU, MERCEDES Y PEPINO



Fuente: AC-DGA, 1997

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

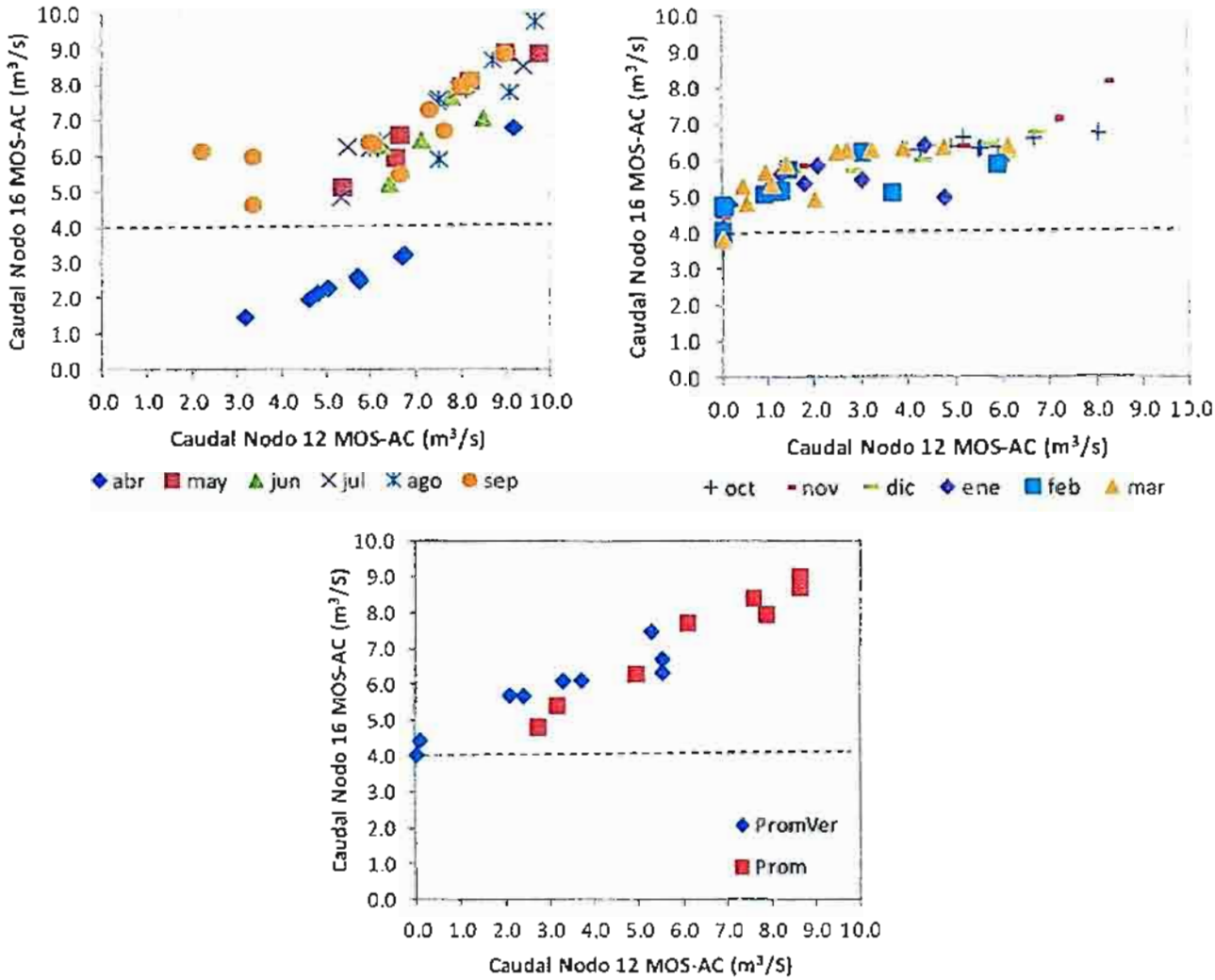
FIGURA 3.4.5.2-2
MAPA ACUIFERO SECTOR DE ESTUDIO MODELO MOS-AC



Fuente: Elaboración propia a partir de plano E.1-2, MOS-AC

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

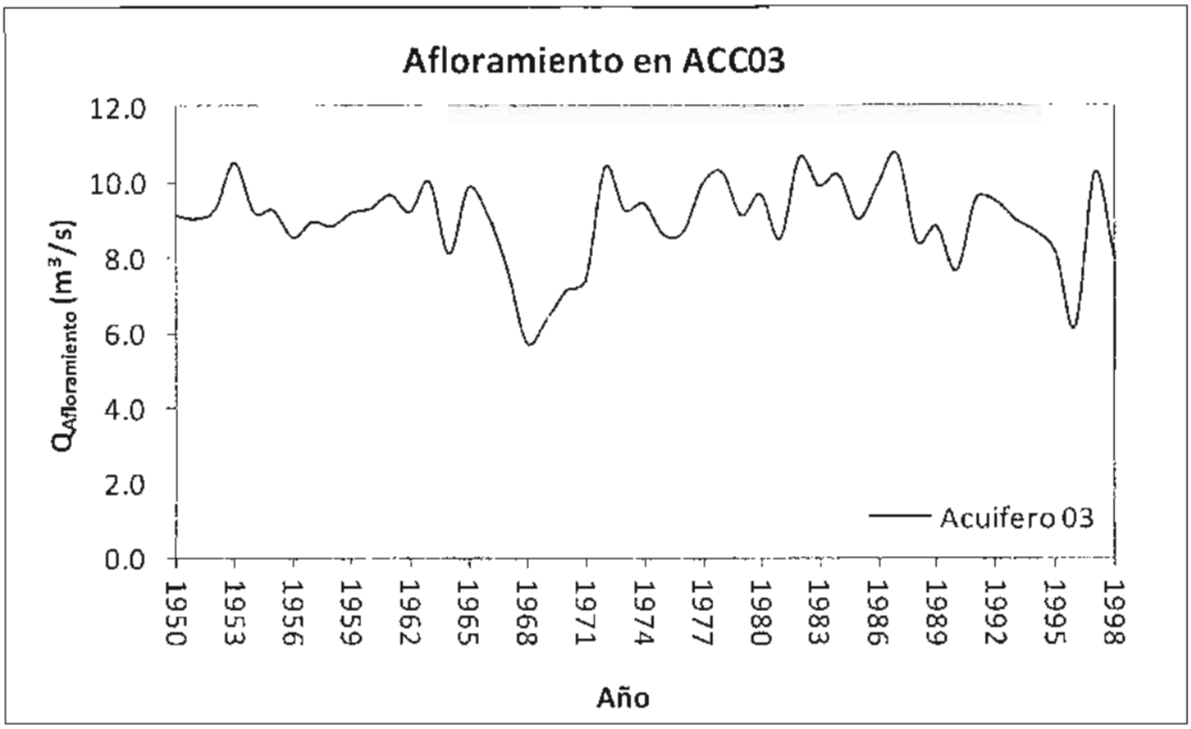
FIGURA 3.4.5.2-3
CAUDALES ENTRE LOS NODOS 12 Y 16 DEL MODELO MOS-AC



Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.4.5.2-4
AFLORAMIENTOS DEL ACUÍFERO ACC03 DEL RÍO ACONCAGUA



Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.4.5.2-3
VALORES PROMEDIO DE LAS COMPONENTES DEL BALANCE HÍDRICO PERIODO 1991-2001

Acuífero	Entrada (m^3/s)	Recarga (m^3/s)	Bombeo (m^3/s)	Salida (m^3/s)	Afloramiento (m^3/s)	Variación Volumen almacenado (m^3/s)
A01	0,161	11,209	1,122	0,637	0,637	-0,707
A02	0,241	2,056	0,106	0,044	0,044	-0,058
A03	10,992	0,000	0,084	7,603	7,603	0,000
A04	3,305	0,730	0,233	2,048	2,048	0,001
A05	0,002	0,411	0,161	0,068	0,068	-0,003
A06	0,360	1,946	1,079	0,591	0,591	0,020
A07	0,655	0,825	1,053	0,260	0,260	0,000
A08	0,193	0,597	0,437	0,287	0,287	0,002
A09	0,093	0,844	0,522	0,305	0,305	-0,011

Fuente: DICTUC-DOH, 2008

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail oficina@arrauingenieria cl

3.4.6. Campañas de Aforo Rio Aconcagua y Vertientes

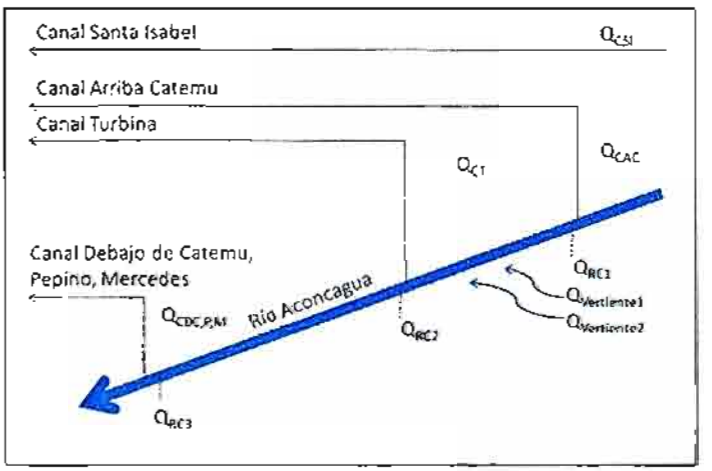
Se procedió a realizar una campaña de aforos en el río Aconcagua, en los tramos que indica la Figura 3.4.6-1, con el fin de estimar a través de un balance el caudal global de la zona, en el que se consideran las recuperaciones de zonas de riego y el aporte de vertientes en la zona de afloramiento. En el Cuadro 3.4.6-1 se muestra la ubicación de os caudales aforados en la campaña realizada durante los días de 04 y 05 de octubre del 2011.

CUADRO 3.4.6-1
PUNTOS DE AFORO EN LA ZONA DE ESTUDIO

CAUDAL	DESCRIPCIÓN	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)
Q_{RC1}	Caudal aforado aguas abajo de la Bocatoma del Canal Arriba Catemu	328.082	6.373.929
Q_{RC2}	Caudal aforado aguas abajo de la bocatoma del Canal Turbina	326.400	6.372.578
Q_{RC3}	Caudal aforado aguas arriba de la bocatoma de la bocatoma unificada del Canal Abajo, Pepino y Mercedes.	325.786	6.371.893

Sistema Referencia WGS 84 USO 19
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.4.6-1
ESQUEMA DE CAUDALES AFORADOS EN ZONA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.4.6-2 se muestra una foto de los aforos realizados en la campaña. En el Cuadro 3.4.6-2 se muestra el valor de los caudales aforados, y el valor de los caudales extraídos por los canales Turbina y Arriba de Catemu, estos dos últimos se obtuvieron en base a capacidad y estadística registrada por el Canal Arriba Catemu, respectivamente.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.4.6-2
CAMPAÑA DE AFOROS EN ZONA DE ESTUDIO

En base a los caudales aforados se procedió a realizar un balance por tramo, en el que se estimaron los caudales por tramo que se muestran en el Cuadro 3.4.6-3.

CUADRO 3.4.6-2
CAUDALES AFORADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO (m^3/s)

Fecha	04-Oct-2011	05-Oct-2011
Q_{CSI}	0,300	0,300
Q_{CT}	0,250	0,250
Q_{CAC}	0,406	0,406
Q_{RC1}	0,768	1,019
Q_{RC2}	1,498	1,495
Q_{RC3}	1,732	1,449

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.4.6-3
VARIACION DE CAUDALES AFORADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO (m^3/s)

Fecha	04-Oct-2011	05-Oct-2011
ΔTramo1	0,980	0,726
ΔTramo2	0,234	-0,046

Fuente: Elaboración propia

En el primer tramo se observa que se recibe el aporte de las vertientes, y de la zona de afloramiento, mientras que en la segunda zona sólo se recibe caudal asociado a recuperación de las zonas de riego del Canal Arriba de Catemu y Turbina. Se observa que el día 04-Oct-2011, se recibieron caudales por parte de la zona de riego en el tramo 2, mientras que el día 05-Oct-2011 no se recibieron estos aportes y sólo se obtuvo una pérdida por infiltración en este tramo. En promedio en el primer tramo se estima un caudal de 0,853 m^3/s.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El detalle de esta campaña de aforo se muestra en el Anexo 3-15 (Aforos Río Aconcagua 2011).

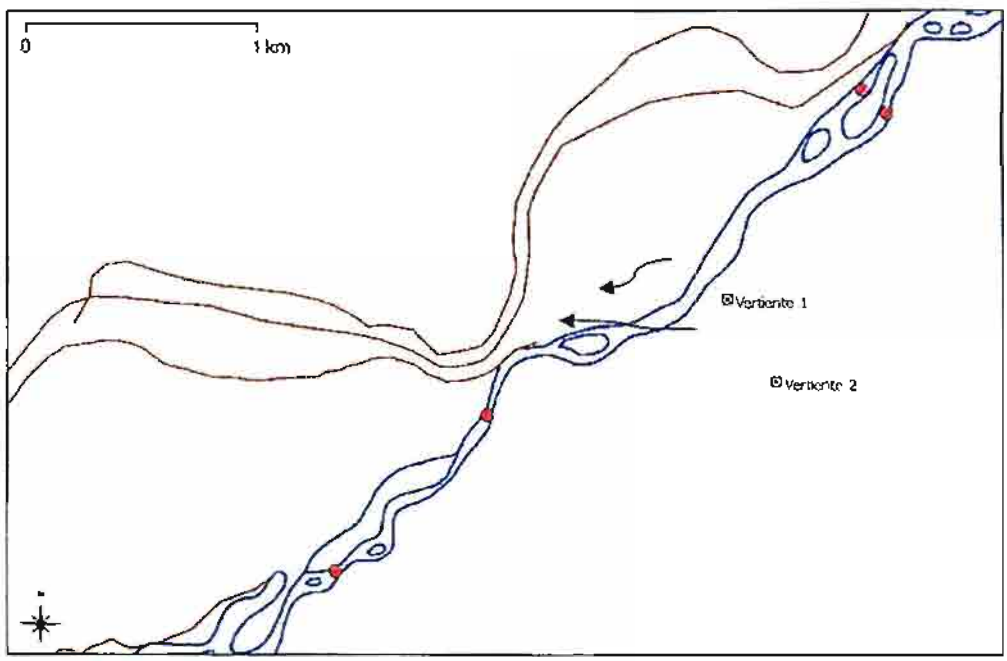
Por otra parte se realizó una búsqueda de las vertientes descritas en el estudio AC-DGA, 1997. Se logró identificar ambos puntos, cuyas coordenadas se presentan er el Cuadro 3.4.6-4, y estimar el caudal de las vertientes tal como se muestran en la Figura 3.4.6-3, mientras que en la Figura 3.4.6-4 se muestra una imagen de las vertientes identificadas.

CUADRO 3.4.6-4
UBICACIÓN DE VERTIENTES

VERTIENTE	ESTE UTM (m)	NORTE UTM (m)
1	327.442	6.373.041
2	327.645	6.372.675

Fuente: Elaboración propia

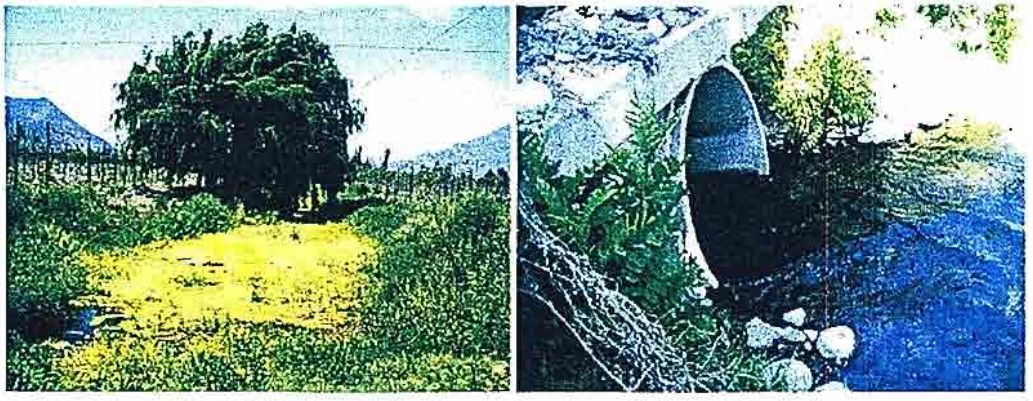
FIGURA 3.4.6-3
AFOROS Y VERTIENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria cl

FIGURA 3.4.6-4
IMAGEN DE VERTIENTE 1 (IZQUIERDA) Y DE UN PASO DE LA VERTIENTE 2



Ambas vertientes, según lugareños, presentan un caudal constante y no han disminuido su aporte, por lo que se puede considerar un flujo relativamente constante y seguro. En el Cuadro 3.4.6-5 se muestra los valores estimados para cada vertiente.

En promedio de los caudales estimados por AC en 1996, y de los caudales estimados en este estudio se observa un caudal de las vertientes de 0,517 m^3/s.

CUADRO 3.4.6-5
CAUDALES ESTIMADOS EN VERTIENTES ZONA DE ESTUDIO

Código Afloramientos	Fecha	Gasto (m^3/s)
$Q_{vertiente1}$	18/Oct/2011	0,210
$Qv_{ertiente2}$	18/Oct/2011	0,364
	$Q_{VertTot}$	0,574

Fuente: Elaboración propia

3.4.7. Comentarios y Recomendaciones

Según los antecedentes recopilados en la zona se estima que el caudal de afloramiento aporta un caudal importante en el periodo estival, especialmente en meses secos. Para toda la segunda sección se estima un caudal promedio de afloramiento de 7,6 m^3/s, mientras que para la zona comprendida entre los nodos 16 y 12, se estima un caudal de afloramiento y recuperaciones de al menos 4 m^3/s.

Entre el tramo del río Aconcagua comprendía entre las bocatomas del Canal Arriba de Catemu y la Bocatoma unificada de los Canales Abajo, Pepino y Mercedes, se estimó un caudal global de 0,853 m^3/s, del cual una parte corresponde a recuperaciones de

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

riego y otra a los afloramientos de dos vertientes identificadas en terreno. Mediante las campañas de aforo realizadas por AC (1997), y por este estudio (2011), ambas en el mes de octubre, se estima un caudal aproximado de 0,5 m^3/s, proveniente de las vertientes.

Este valor permite asegurar que mientras existan estas fuentes, existirá un caudal relativamente constante que sólo puede ser captado por la actual bocatoma unificada de los canales Bajo, Pepino y Mercedes.

3.5. ESTUDIO DE DERECHOS DE AGUA Y ASPECTOS LEGALES

3.5.1. Generalidades

El río Aconcagua nace en la provincia de Los Andes, formado por los ríos Blanco y Juncal, cuyo régimen es esencialmente de deshielos con fuentes a 4.000 m.s.n.m. a los 25 km aguas abajo recibe el aporte del río Colorado, principal afluente del río Aconcagua, hacia el valle recibe los aportes del río Putaendo y de los Esteros Pocuro, Quilpué, Las Vegas, Catemu, Romeral, Rabuco, San Pedro y Limache.

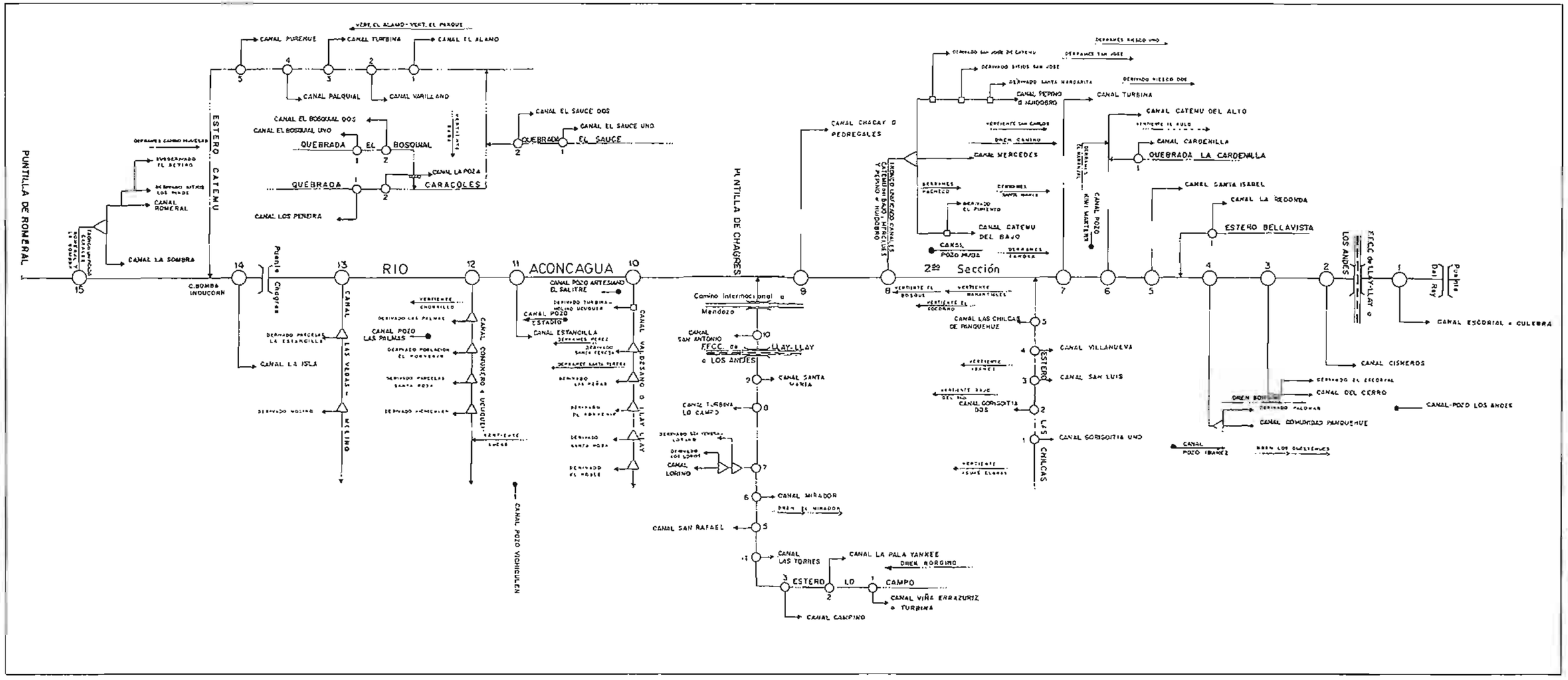
El río Aconcagua comprende 4 secciones a lo largo de su recorrido, las cuales son:

- Primera sección: Desde la naciente en la cordillera de los Andes, hasta el puente de ferrocarril frente a San Felipe.
- Segunda sección: Desde San Felipe hasta la Puntilla Romeral.
- Tercera sección: Entre Puntilla Romeral y Quillota.
- Cuarta sección: Desde Quillota hasta la desembocadura en el Océano Pacífico.

Los canales en estudio se ubican en la segunda sección del río Aconcagua, tal como se muestra en la Figura 3.5.1-1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.5.1-1
SEGUNDA SECCIÓN CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA



Fuente: DGA, 1989

En lo que sigue se presenta el informe referente a los derechos de aguas disponible para los canales en proyecto, y los aspectos o consideraciones legales del proyecto, ejecutado sobre la base del estudio entregado en el transcurso de la consultoría y del análisis de la documentación legal recopilada y acompañada en los Anexos 3-16 a 3-19.

El 24 de mayo de 1915 quedaron inscritas en el Registro de Propiedad del Conservador de San Antonio de Putaendo, las mercedes de agua de los canales Arriba de Catemu y Abajo de Catemu, y el 26 de julio de 1991 quedó organizada la Comunidad de Aguas del Canal Pepino, de la siguiente forma:

- El Canal Arriba de Catemu tiene 260 regadores de 30 L/s cada uno, lo que da un total de 7,8 m^3/s, en virtud de merced otorgada por el Gobernador de Putaendo el 11 de octubre de 1844. La inscripción rola a fs 100, N°105 del año 1911. Para lograr el perfeccionamiento de estos derechos es necesario actualizar el rol de regantes de la Asociación, repartir individualmente estas acciones y darles el carácter de uso consuntivo, permanente y continuo.
- El Canal Abajo de Catemu tiene 200 regadores de 30 L/s cada uno, lo que da un total de 6 m^3/s, en virtud de merced otorgada por el Gobernador de Putaendo el 19 de noviembre de 1866. La inscripción rola a fs. 20, N°39 del año 1877. Para lograr el perfeccionamiento de estos derechos es necesario actualizar el rol de regantes de la Asociación, repartir individualmente estas acciones y darles el carácter de uso consuntivo, permanente y continuo.
- El Canal Pepino se organizó como Comunidad de Aguas mediante Resolución DGA N°1410 de 26 de julio de 1991, y tiene asignadas 476,629 acciones de la Segunda Sección del río Aconcagua, equivalentes a derechos de uso consuntivo, permanente y continuo. Para lograr el perfeccionamiento de estos derechos es necesario que se asigne la equivalencia de la acción en términos de volumen de agua por unidad de tiempo.

En función de las mercedes citadas anteriormente, los regantes de los tres canales deben perfeccionar sus derechos de agua, bajo procedimientos que se indican más adelante.

Esta complementación, abarca las siguientes materias o puntos de interés para el proyecto:

- Factibilidad de ejecución del proyecto bajo el estado actual de los derechos de aprovechamiento.
- Procedimientos legales a seguir para su consecución.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Requisitos y procedimiento de tramitación para materializar el cambio de punto de captación de los canales Abajo de Catemu y Pepino.
- Compatibilidad de los derechos de aprovechamiento de los canales con el proyecto hidroeléctrico.
- Compatibilidad del proyecto con el pago de patente por no uso de las aguas.
- Eventuales limitantes legales para las organizaciones de usuarios (de intervenir en la generación de hidroelectricidad).

3.5.2. Jurisdicción y Derechos Constituidos

3.5.2.1. Canales Arriba y Abajo de Catemu

A nivel de canales, los registros legales sobre la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas en los canales Arriba y Abajo de Catemu existen desde la mitad del siglo IX.

En primer lugar, el 11 de octubre de 1844 el Gobernador de San Antonio de Putaendo otorgó una merced de agua del "Canal Arriba" a Don Borja García Huidobro, cuya dotación es de 260 regadores de aguas de 30 L/s cada uno. En caso de "Canal Abajo" la merced se otorgó el 19 de noviembre de 1866, con una dotación de 200 regadores de de 30 L/s cada uno. Estas mercedes se inscribieron en el Conservador de Bienes Raíces de Putaendo en Mayo de 1911.

La inscripción de posesión de aguas de la Comunidad de los Canales de Catemu, Herederos de Don Borja Garcia Huidobro (Fojas 55v Nº 82 del Registro de Propiedad del año 1915) señala que el llamado "Canal Arriba" posee jurisdicción desde la bocatoma que está situada en la ribera norte del río Aconcagua en la puntilla que divide las Quebradas Redonda y Agustinos, hasta el último marco inclusive, en concordancia la merced otorgada en 1844, con una dotación de 260 regadores de aguas de 30 L/s cada uno. El "Canal Abajo", cuya jurisdicción es desde la bocatoma que está situada en la ribera norte del río Aconcagua en la Puntilla de Reinoso[1] hasta los últimos marcos inclusive y que tiene como dotación 200 regadores de agua de 30 L/s cada uno, según la merced que se otorgó en 1866, además del Estero de Catemu cuya dotación es de 100 regadores estimados según escritura pública del 14 de agosto de 1891.

En base a la misma inscripción, la hacienda de Catemu perteneciente a don Borja García Huidobro, se divide en seis hijuelas con una dotación de regadores específica de cada canal, tal como se presenta en el Cuadro 3.5.2.1-1.

[1] Es importante recordar que el canal Abajo de Catemu comparte la bocatoma y el primer tramo con los Canales Pepino y Mercedes.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En la modificación de los estatutos de la Comunidad del año 1940 (Fojas 511 Nº 724) se conserva el valor total de acciones por canal y su equivalencia en caudal (30 L/s= 1 acción), pero los regadores asignados se redistribuyen entre las Hijuelas producto de las divisiones del terreno. El resumen de esta información se presenta en el Cuadro 3.5.2.1-2.

CUADRO 3.5.2.1-1
DISTRIBUCIÓN Y DOTACIÓN INICIAL DE LOS DERECHOS DE AGUA PARA LA COMUNIDAD DE LOS CANALES DE CATEMU 1915

Hijuela	Nº de regadores			
	Canal Abajo	Canal Arriba	Estero de Catemu	Total
Las Varillas	14	12	60	86
Ñilhue	28	37		65
La Poza		90	Quebrada del sauce	90
Los Cerrillos	31	79		110
Las Compuertas	82	17		99
Las Vacas	45	25	40	110
TOTAL	200	260	100	560

Fuente: Inscripción de posesión de aguas de la Comunidad de los Canales de Catemu, Herederos de Don Borja García Huidobro, 1915.

CUADRO 3.5.2.1-2
DISTRIBUCIÓN Y DOTACIÓN DE LOS DERECHOS DE AGUA PARA LA COMUNIDAD CANALES DE CATEMU 1940

Hijuela	Nº Regadores por Canal		
	Abajo de Catemu	Arriba de Catemu	Total
Las Varillas	14	12	26,00
Ñilhue	-	70,00	70,00
Los Cerrillos	8,00	122,00	130,00
Las Compuertas	24,62	5,92	30,54
Las Vacas	108,25	47,20	155,45
Las Mercedes	23,58	-	23,58
La Fortuna	4,55	-	4,55
Hijuela Tercera	17,00	2,88	19,88
TOTAL	200,00	260,00	460,00

Fuente: Modificación de estatutos de la Comunidad de los Canales de Catemu, 1940.

Posteriormente, tanto en la constitución de las Asociaciones de los Canales Arriba

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

de Catemu Abajo de Catemu y la reforma de estatutos del 1946, como en la inscripción de los derechos de aguas de cada organización en el repertorio del registro de regadores de 1947[2] se mantiene las acciones totales nombradas anteriormente, sin precisar en estos casos su equivalencia en caudal. El resumen de la distribución de acciones se indica en el Cuadro 3.5.2.1-3.

CUADRO 3.5.2.1-3
DISTRIBUCIÓN DE LAS AGUAS ASOCIACIONES CANALES ABAJO Y ARRIBA DE CATEMU 1947

Distribución de las Aguas	Acciones por Canal	
	Abajo de Catemu	Arriba de Catemu
Fundo Las Varillas	10,90	11,00
Hacienda Las Vacas (La Colonia)	108,25	47,20
Fundo Las Compuertas	24,62	5,92
Fundo Ñilhue	-	70,00
Fundos Los Cerrillos	8,00	122,00
Hijuela Tercera	17,00	2,88
Lote 2 Hijuela "Sur Varillas"	0,97	1,00
Lote 3 Hijuela "Sur Varillas"	1,70	-
Lote 4 Hijuela "Sur Varillas"	0,43	-
Fundo Las Mercedes	23.58	-
Hijuela La Fortuna	4,55	-
Total	200,00	260,00

Fuente: Inscripción de los derechos de aprovechamiento de aguas de las Asociaciones de los Canales Arriba y Abajo de Catemu, 1947.

El 17 de enero de 2002 el Registro de Organizaciones de Usuarios de la Dirección General de Aguas declara organizada a la Asociación de Canalistas del Canal Arriba de Catemu una dotación de derechos de fuente correspondientes a 258,2 acciones según Resolución DGA N° 140. Por su parte, la Resolución DGA N° 139 de la misma fecha reconoce a la Asociación de Canalistas del Canal Abajo de Catemu una dotación de derechos de fuente correspondientes a 195,5 acciones. En ambos casos no se indica un caudal de equivalencia por acción ni total.

Cabe destacar que el año 1999 se vendieron 29,17 acciones (de las 260) del canal Arriba de Catemu (sector Cerrillos), las que se encuentran en trámite de exclusión de la contabilidad total del canal. De esta forman el canal queda con 230,83 acciones (6.924,9 l/s).

[2] La inscripción de los derechos de aprovechamiento de aguas de la Asociación del Canal Arriba de Catemu se anota en el repertorio con el N° 724, fojas 14 vta. N° 18. En el caso de los derechos de aprovechamiento de la Asociación del Canal Abajo de Catemu la anotación es N° 725, fojas 17 vta. N° 19. En ambos casos la fecha 23 de octubre de 1947 en el Conservador de Bienes Raíces de San Felipe.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Finalmente, el acta de constitución de la Junta de Vigilancia de la Segunda Sección de la Cuenca del Río Aconcagua del año 2002 se asigna una cantidad acciones, un caudal que se le reconoce tienen derecho a tomar del río y un porcentaje de reparto con respecto al total de agua de la segunda sección[3]. Estos valores se indican en el Cuadro 3.5.2.1-4 y han sido objetados por la Dirección General de Aguas en varias ocasiones, siendo el último oficio en el año 2007, debido a que en estos y otros canales de la sección los valores de acciones y caudales no guardan relación con los derechos inscritos en el Conservador de Bienes Raíces de San Felipe, el Catastro Público de Aguas o el Registro de Organizaciones de Usuarios.

CUADRO 3.5.2.1-4
CAUDAL RECONOCIDO Y ACCIONES ASIGNADAS POR JUNTA DE VIGILANCIA DE LA SEGUNDA SECCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA PARA LOS CANALES ARRIBA Y ABAJO DE CATEMU

Canal	Caudal captado (L/s)	Acciones en la 2° sección	Proporción de la 2° sección (%)
Arriba de Catemu	3.000	3.000	10,91703
Abajo de Catemu	1.600	1.600	5,8224153

Fuente: Acta de Constitución de la Junta de Vigilancia de la Segunda Sección de la Cuenca del Río Aconcagua, 2002.

Además de los antecedentes legales presentados, en el área de estudio se han realizado estudios de mejoramiento de infraestructura o evaluación de recursos hídricos que hacen referencia a los derechos de aprovechamiento constituidos. Tal es el caso del Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Canales Catemu (Procivil, 1996) que hace referencia a las 260 y 200 acciones inscritas de los canales Arriba y Abajo de Catemu, respectivamente. También indica la equivalencia de 30 L/s por acción. Se cita como fuente de información principal el Catastro de Usuarios de Aguas de la Segunda Sección del Río Aconcagua y Canal Melón, V Región (DGA, 1989).

El estudio de Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Rio Aconcagua SDT N°165 (DGA, 2004) coincide con el número de acciones, pero no indica un caudal asignado, sino caudales de extracción[4] y de capacidad de los canales[5].

Finalmente, el estudio de perfil denominado "Proyecto de Unificación de Bocatomas y Multiuso de Aguas de Canales: Arriba de Catemu; Abajo de Catemu y Pepino" (Procivil 2009) afirma que al canal Arriba de Catemu le corresponde el 16% de la Segunda

[3] Estos caudales corresponden a los estimados por el ingeniero civil Alberto Undurraga en el estudio "Informe de Canales de riego y Aforos de la Cuenca de la Segunda Sección del Río Aconcagua, Provincia de San Felipe" de 1998 y encargado por la Junta de Vigilancia en conformación.
[4] Arriba de Catemu: 3,7 m^3/s y Abajo de Catemu: 2,0 m^3/s
[5] Arriba de Catemu: 4,0 m^3/s y Abajo de Catemu: 2,5 m^3/s

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Sección del río Aconcagua, con derechos inscritos en el Conservador de Bienes Raíces son 6 m^3/s. Por su parte, al canal Abajo de Catemu le corresponde el 8,6% de la Segunda Sección del río Aconcagua con derechos inscritos en el Conservador de Bienes Raíces son 6 m^3/s. Estas cifras se basan en los caudales máximos extraídos en el periodo 1973-1983 según el Estudio SDT N°165 (DGA, 2004), sin embargo al revisar dicho estudio se advierte que el máximo caudal captado por el Canal Arriba de Catemu sería 7,8 m^3/s y no 6 m^3/s como cita Procivil (2009), lo cual podría deberse a un error de transcripción.

A nivel de los usuarios dentro de cada canal, actualmente las Asociaciones de los canales Arriba y Abajo de Catemu poseen registros que el 40,6% y 53,7% de sus miembros[6] tienen sus derechos individuales inscritos en el Conservador de Bienes Raíces de San Felipe, respectivamente, pero se desconoce la proporción de agricultores que posee dichos derechos de aprovechamiento perfeccionados, indicando el caudal de equivalencia y el punto de captación.

Las inscripciones, resoluciones y reglamentos disponibles de ambos canales se encuentran en el Anexo 3-16.

3.5.2.2. Canal Pepino o Huidobro

De acuerdo a una sentencia jurídica, en su considerando cuarto, de fecha 29 de Diciembre de 1914 se asigna al canal común Pepino o Huidobro y Mercedes 300 regadores del rio Aconcagua. Además se señala que tiene una bocatoma común con el canal Abajo de Catemu.

Ya en el año 1991, la recién constituida Comunidad de Aguas del Canal Pepino o Huidobro afirma poseer 476,629 acciones de segunda sección río Aconcagua, las que son inscritas en Fojas 291 N° 254 de 1991 del Conservador de Bienes Raíces de San Felipe y registradas por la Dirección General de Aguas en la Resolución N°1410 del 26 de Julio de 1991. En ninguno de los casos se indica una equivalencia en caudal según los exige el Código de Aguas en su artículo 7°. Por otra parte, al sumar las acciones individuales de los usuarios del canal se obtiene un total de 474,14, por lo que se puede asumir que el resto de las acciones (2,489) no se encuentran inscritas a nivel de usuario.

Por otra parte, el acta de constitución de la Junta de Vigilancia de la Segunda Sección de la Cuenca del Río Aconcagua del año 2002 reconoce 2.300 L/s con derecho a tomar del río Aconcagua, los que equivalen a 2.300 acciones y 8,3697234% del agua disponible en la segunda sección. Tal como lo que ha sucedido con los canales arriba y Abajo de Catemu, estos valores han sido objetados por la Dirección General de Aguas,

[6] En términos de predios o lotes de los cuales las Asociaciones poseen las inscripciones en su oficina de administración, es decir, que tienen certeza de su existencia, pudiendo ser un número mayor de agricultores que poseen los derechos de aprovechamiento inscritos.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

debido a que no guardan concordancia con los derechos inscritos en el Conservador de Bienes Raíces de San Felipe, el Catastro Público de Aguas o el Registro de Organizaciones de Usuarios.

Con respecto a informes técnicos realizados en el canal, los estudios de división de derechos de aprovechamiento de aguas realizados por el SAG para las parcelaciones San Carlos, El Carmelo y San José de Catemu[7] se señala que el Canal Pepino posee un total de 300 regadores, los que incluyen los derechos del canal Mercedes.

El estudio de Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Rio Aconcagua SDT N°165 (DGA, 2004) señala que el canal Pepino posee 20,88 acciones, lo que según la presente consultoría corresponde a un error de transcripción, ya que dicha cifra corresponde a las acciones del canal Mercedes, con el cual comparte la bocatoma y el primer tramo del canal. Esto se confirma al ver las acciones asignadas al canal Mercedes en el mismo estudio mencionado (DGA, 2004), se indican 466,629 acciones, valor que en realidad corresponde al indicado en la primera página de la inscripción de los derechos del canal Pepino en 1991[8], y no a las del canal Mercedes[9]. Además se señalan caudales de extracción (1,65 m^3/s) y de capacidad del canal (3,0 m^3/s).

Finalmente, el estudio de perfil denominado "Proyecto de Unificación de Bocatomas y Multiuso de Aguas de Canales: Arriba de Catemu; Abajo de Catemu y Pepino" (Procivil, 2009) afirma que al Canal Pepino le corresponde el 7,1% de la Segunda Sección del río Aconcagua, basándose en los caudales máximos extraídos en el periodo 1973-1983 según el Estudio SDT N°165 (DGA, 2004).

A nivel de los derechos particulares de los usuarios del canal, si bien en la constitución de la Comunidad de Aguas (1990) y en la inscripción de los derechos de aprovechamiento de aguas (1991) se desglosan las acciones correspondientes a cada usuario, la Comunidad no cuenta con información sobre el grado de inscripción de los títulos de dominio individuales actualizados.

3.5.2.3. Proyectos de Parcelación

En estrecha relación con lo expuesto anteriormente, se han llevado a cabo proyectos parcelación de algunos sectores del valle de Catemu, en los que han comprado o expropiado terrenos, o parte de ellos, y distribuido las acciones inscritas, en proporción al

[7] Ver apartado 3.4.2.3. Realizados antes de la inscripción de los derechos de aprovechamiento de aguas de 1991.
[8] En las páginas posteriores de la Inscripción Fojas 291 Nº 254 año 1991 del Conservador de Bienes Raíces de San Felipe las 466,629 acciones son rectificadas por las 476,629 que finalmente se reconocen.
[9] Que son 20,88 acciones según Fojas 163 Nº 162 año 1991 Conservador de Bienes Raíces de San Felipe

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

terreno adquirido, correspondientes a los grandes fundos o Hijuelas indicadas en los apartados precedentes.

La primera de ellas es la adquisición por parte de la Caja de Colonización Agrícola de la Compañía Chilena de Tabacos de la Hacienda Las Vacas e Hijuela Cuarta de La Hacienda Las Compuertas según escritura pública de compraventa de fecha 10 de Mayo de 1937. La división original de los derechos por parcela o sitio se realiza el año 1939, denominando el sector como parcelación La Colonia. En la modificación de estatutos de la Comunidad de los Canales de Catemu de 1940 se realizan pequeños cambios de distribución entre parcelas.

Las acciones de la Parcelación La Colonia correspondieron a 155,45 entre los dos canales, las que corresponden a 1000 partes, las que se distribuyeron entre las parcelas y sitios establecidos. El Cuadro 3.5.2.1-5 muestra la distribución de las acciones y partes por canal y su equivalencia en caudal.

CUADRO 3.5.2.1-5
DISTRIBUCIÓN DE LOS DERECHOS DE APROVECHAMIENTOS DE AGUAS PARCELACIÓN LA COLONIA

Canal	Acciones			Partes dentro de Parcelación	Equivalencia Caudal con 1 parte
	Hacienda Las Vacas	Hijuela Cuarta	Total		
Arriba de Catemu	39,0	8,2	47,2	238,9	5,927 L/s
Abajo de Catemu	87,0	21,25	108,25	761,1	4,267 L/s
Total	126,0	29,45	155,45	1000,0	10,194 L/s

Fuente: División Derechos de aprovechamiento de aguas parcelación La Colonia, 1939.

Por otra parte, la Dirección Ejecutiva del Servicio Agrícola Ganadero entre 1978 y 1988 realizo estudios técnicos en la zona para la división de los derechos de aprovechamientos de aguas en parcelaciones realizadas por la Corporación de Reforma Agraria (CORA)[10], basándose en lo dispuesto en el DFL. 278 de 1979 del Ministerio de Agricultura, el artículo 5° transitorio del Código de Aguas (DFL 1.122) y otras disposiciones particulares según sea el caso.

Los antecedentes sobre la distribución predial de los derechos de aprovechamiento de aguas de todas estas parcelaciones se encuentran en forma resumida en el Cuadro 3.5.2.1-6, y en forma íntegra en el Anexo 3-17.

[10] Terrenos a los que se les aplicó las leyes 15.020 y 16.640 sobre reforma agraria.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.5.2.1-6
DERECHOS DE APROVECHAMIENTOS DE AGUAS ASIGNADOS POR EL SAG EN PARCELACIONES CORA

Parcelación	Fecha	Nº Regadores		
		Arriba de Catemu	Abajo de Catemu	Pepino o Huidobro[11]
Las Compuertas	03/07/1981	7,32	0,74	-
Proyecto Parcelación San Carlos	30/08/1984	-	0,30	48,10
Proyecto Parcelación Talhuen	30/08/1984	4,14	4,42	-
Predio Las Mercedes de Catemu y Proyecto Parcelación Las Mercedes de Catemu	30/08/1984	-	10,58	-
Predios Hijuela Primera o Santa Clara del Fundo Santa Rosa de Catemu, Hijuela Segunda o El Quillay, Santa Rosa de Catemu y Proyecto de Parcelación El Carmelo	10/11/1987	-	-	28,00
Anteproyecto Cooperativa Asignataria Ñilhue.	06/11/1978	55,16	-	-
Predio Hijuela Norte de Las Varillas y Proyecto de Parcelación Las Varillas	31/08/1984	2,93	8,57	-
Proyecto Parcelación San José de Catemu	29/03/1988	74,251 L/s	-	77,31
Cooperativa Asignataria Los Cerrillos de Catemu.	6/11/1978.	97,48	7,38	-

Fuente: Estudios técnicos de división de derechos de aprovechamientos de aguas, SAG 1978-1988.

3.5.3. Organizaciones de Usuarios

3.5.3.1. Constitución y Reconocimiento

En primer lugar es importante destacar que la constitución y registro de las organizaciones de usuarios de aguas se encuentra íntimamente ligada a la inscripción de los derechos de aprovechamiento de aguas. Esto se hace más evidente en el caso de las organizaciones constituidas antes de la entrada en vigencia del Código de Aguas (DFL 1.122 de 1981).

En los canales Arriba y Abajo de Catemu, la inscripción Fojas 55v Nº 82 del Registro de Propiedad del año 1915 la hacienda de Catemu perteneciente a don Borja

[11] En el caso del Canal Pepino o Huidobro los estudios se refieren a regadores sobre un total de 300 que se asegura posee el canal.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

García Huidobro, se divide y se constituye la Comunidad de los Canales de Catemu, Herederos de Don Borja García Huidobro.

El 15 de agosto de 1940 (Fojas 511 Nº 724) se modifican los estatutos de la Comunidad de Canales de Catemu, donde se presenta una nueva distribución de los regadores entre las Hijuelas en cada canal.

Con fecha 09 de mayo de 1946 la Comunidad de los Canales de Catemu se divide en la Asociación del Canal Arriba de Catemu y la Asociación del Canal de Abajo de Catemu cuyos estatutos son modificados e inscritos en fojas 281.

Es así como la Asociación del canal Arriba de Catemu se anota en el repertorio con el Nº 724 fs. 14 vta. Nº 18 en el registro de regadores a fecha 23 de octubre de 1947.Por su parte la Asociación del canal Abajo de Catemu se anota en el repertorio con el Nº 725 fs. 17 vta. Nº 19 en el registro de regadores a fecha 23 de octubre de 1947.

Finalmente el 17 de enero de 2002 el Registro de Organizaciones de Usuarios de la Dirección General de Aguas declara organizada a la Asociación de Canalistas del Canal Arriba de Catemu según Resolución DGA Nº 140. Por su parte, la Resolución DGA Nº 139 de la misma fecha reconoce a la Asociación de Canalistas del Canal Abajo de Catemu.

En el caso del canal Pepino o Huidobro, la Comunidad de Aguas se constituyó bajo sentencia del juzgado de letras de San Felipe N°4.266 de Noviembre de 1990. Esta sentencia fue reducida a escritura pública de Diciembre de 1990, con la aprobación de la Dirección General de Aguas.

La cantidad de usuarios (personas) de la Asociación de Canalistas del Canal Arriba de Catemu, la Asociación de Canalistas del Canal Abajo de Catemu y la Comunidad de Aguas del Canal Pepino o Huidobro es , 167 y 276, respectivamente. En el Anexo 3-18 se presentan los listados de usuarios que disponen actualmente las organizaciones.

A nivel de la segunda sección del río Aconcagua el año 2002 se constituyó bajo Fojas 204 N°53 de la notaría pública de San Felipe la Junta de Vigilancia de la Segunda Sección de la Cuenca del río Aconcagua, con el acuerdo y firma de los representantes de todos los canales del área de estudio.

En relación con lo anterior, el Ord DL N°30 de 2007 del Departamento Legal de la Dirección General de Aguas manifestó una serie de observaciones al acta de constitución, lo que impide la inscripción de la Junta de Vigilancia en el Registro de Organizaciones de Usuarios. Estas observaciones se concentran en los siguientes aspectos del estatuto:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniera.cl

- Los valores de acciones y caudales de los canales de la sección no guardan relación con los derechos inscritos en el Conservador de Bienes Raíces de San Felipe, el Catastro Público de Aguas o el Registro de Organizaciones de Usuarios.
- Errores de conceptos, clasificaciones de los registros públicos y citas a cuerpos legales.
- Denominaciones de organizaciones. Errores al nombrar a Comunidades de Aguas como Asociaciones de Canalistas y viceversa.
- Revisión de la inclusión de canales que no extraen directamente sus recursos del río Aconcagua.
- Exigencia de inclusión de los derechos de ESVAL S.A. dentro de la jurisdicción de la segunda sección.
- Exigencia de no consideración de los recursos subterráneos como parte de la Junta de Vigilancia.
- Eliminación de artículos y modificación de la redacción de algunas frases.

No obstante las observaciones anteriores, en la práctica la Junta de Vigilancia opera habitualmente y es aceptada por todos los actores públicos y privados relacionados con la gestión del agua.

Finalmente, el año 2002 se constituyó en Fojas 4.702 N°1.381 de la notaria pública de San Felipe la Corporación Confederación del Río Aconcagua, que a pesar de no ser considerar como un organización de usuarios de aguas por el Código de Aguas (DFL 1.122), es aceptada como un referente para la discusión y proposición de soluciones a los problemas que abarcan a la cuenca del río Aconcagua en su globalidad.

En un inicio, la Confederación agrupó a las Juntas de Vigilancia de la Primera, Segunda y Tercera Sección de la cuenca del río Aconcagua. No obstante, el año 2004, se realizó una regularización de la Confederación, en la cual la Junta de Vigilancia de la Primera sección renunció a esta organización. El año 2005 el Ministerio de Justicia, mediante el Decreto Exento N°1.349 le concede la personalidad jurídica definitiva.

3.5.3.2. Directivas y Administración

La conformación de una organización de usuario requiere de una directiva vigente y una administración. En el Cuadro 3.5.3.2-1 se presentan las directivas que actualmente están vigentes en cada una de las organizaciones de usuarios de aguas presentes y activas dentro del área de influencia del proyecto.

Los canales Arriba y Abajo de Catemu se organizaron de manera tal que su centro de operaciones se mantuviera en un mismo espacio físico, compartiendo oficina y secretaria, adoptando el nombre de Asociación de Canales Unidos de Catemu, ubicados en calle Borjas García Huidobro 222 oficina Nº 5, Catemu. Por su parte la oficina de la Comunidad de Agua del canal Pepino o Huidobro se ubica físicamente en Calle el Arrayán S/N. Finalmente la Junta de Vigilancia de la Segunda sección de la Cuenca del Rio Aconcagua tiene su oficina en la Calle Salinas 276, San Felipe, al igual que la Confederación del Río Aconcagua. En el Cuadro 3.58 se presenta el equipo técnico principal de cada organización.

CUADRO 3.5.3.2-1
DIRECTIVA VIGENTE DE LAS ORGANIZACIONES DE USUARIOS DE AGUA

OUA	Cargo	Nombre	Contacto
Corporación Confederación Río Aconcagua	Presidente	Gonzalo Bulnes Cerda	34-535425
	Vicepresidente	José Fuster Moreno	34-535425
	Director	Jorge Schmidt Girotti	34-535425
	Representante JV. 3ª sección	Santiago Matta Miranda	34-535425
	Representante JV. 3ª sección	Walter Riegel	34-535425
	Representante JV. 2ª sección	Boris Luksic	34-631363
Junta de Vigilancia Segunda Sección Río Aconcagua	Presidente	Jorge Schmidt Girotti	34-535425
	Tesorero	Francisco Vial Amunátegui	34-535425
	Directores	Gonzalo Bulnes Cerda	34-535425
	Directores	Renzo Cánepa Gutiérrez	34-535425
	Directores	Luis Llano Navia	34-535425
Canal Arriba de Catemu	Presidente	Luis Llano Navia	9-2774982/ 34 - 631720 transllano@hotmail.com
	Director	Gianfranco Rossi Camus	8-4489690/ 34 - 631202
	Director	Tomas Yakasovic Saavedra	87688649 tyakasovic@yt.cl
Canal Abajo de Catemu	Presidente	Mirko Yakasovic Saavedra	94450741/ 34-632814 electroagro@123.cl
	Director	José Luis Rossi Soffia	92431371/ 34-631549 joseluis@rossi.cl
	Director	Guillermo Pruzzo Chandia	92305674/ 34- 631988 guillermopruzzo@sanquillermo.cl
Canal Pepino o Huidobro	Presidente	Alfredo Díaz Valenzuela	88087992/ 34 – 631461 adiazcatemu@yahoo.es

Fuente: Junta de Vigilancia de la Segunda Sección del Río Aconcagua, Asociaciones de Canalistas Arriba y Abajo de Catemu y Comunidad de Aguas Canal Pepino o Huidobro / Corporación Confederación Río Aconcagua.

ARRAU Ingenieria E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.5.3.2-2
ADMINISTRACIÓN VIGENTE DE LOS CANALES

OUA	Cargo	Nombre	Contacto
Corporación Confederación Río Aconcagua	Secretaria Técnica	Ximena Urzúa Vargas	34-535425 xurzua@entelchile.net
Junta de Vigilancia Segunda Sección Cuenca del Río Aconcagua	Secretaria Técnica	Ximena Urzúa Vargas	34-535425 xurzua@entelchile.net
Canal Arriba de Catemu	Administrador	Elmo Herrera	75369091
	Celador y Tomero	Hernán Puebla	83907315
	Celador Sector las Varillas	Samuel Herrera	92172437
	Celador Sector Ñilhue	Rubén Sepúlveda	93824885
	Celador Sector La Colonia	Víctor Araya	-
	Secretaria	Rosa y Francis Vargas Díaz	34- 631371
Canal Abajo de Catemu	Administrador	Ignacio Espic	95510514
	Celador y Tomero	Gerardo Arancibia	83672866
	Celador Sector Los Cerrillos	Juan Rojas	94022367
	Celador Sector La Colonia	Carlos Vera	89508299
	Secretaria	Rosa y Francis Vargas Díaz	34- 631371
Canal Pepino o Huidobro	Tomero y Corrector	Marcos Ramírez	84374776
	Secretaria	Roxana Díaz	34- 631461

Fuente: Asociaciones de Canalistas Arriba y Abajo de Catemu y Comunidad de Aguas Canal Pepino o Huidobro.

3.5.4. Régimen de Turnos

Según lo expresado por las administraciones de los canales analizados y por la Junta de Vigilancia de la Segunda sección de la Cuenca del Río Aconcagua, el área de estudio no presenta problemas de abastecimiento con una magnitud tal que condicionen la existencia de turnos para la extracción de agua del río Aconcagua, La excepción la

representan los años en los cuales se ha declarado a la cuenca como zona de escasez[12], siendo los últimos en los años 2008[13] y 2010 (Anexo 3-19).

En especifico, el Decreto del Ministerio de Obras Públicas N° 403 del 24 de Noviembre de 2010, que a la fecha Junio 2011 aún se encuentra vigente y que además abarca a las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca, faculta a la Dirección General Aguas para intervenir el río Aconcagua, permitiendo extracciones sin constituir derechos de aprovechamientos y establecer turnos durante el periodo que dure el Decreto. Sin perjuicio de lo anterior, Las Juntas de Vigilancia de la Primera, Segunda y Tercera Sección de la cuenca del río Aconcagua acordaron el 29 de Diciembre de 2010 establecer un sistema de turnos de extracción de agua en el río, correspondiéndole a la segunda sección entregar el 100% de sus recursos por un periodo de 40 horas semanales, desde las 06.00 horas del día domingo hasta las 22.00 horas del lunes. Este acuerdo se encuentra disponible en el Anexo 3-19.

Dentro de cada canal existe un sistema de turnos informal en cada sector del valle, detectándose un mayor grado de coordinación en el canal Abajo de Catemu, debido a que según lo expresado por sus Asociación, presenta mayores problemas de distribución que los otros canales. En términos teóricos, las divisiones de derechos en las parcelaciones CORA realizadas por el SAG (Cerrillos, Ñinhue, San José, Las Marías, La Colonia, Las Varillas, El Carmelo y San Carlos) contemplan un sistema de turnos, el que no se cumple en la práctica.

3.5.5. Consideraciones Legales

Las consideraciones legales pretenden dar a conocer en forma general los principales aspectos que deben ser abordados por las organizaciones de usuarios y los usuarios de los canales en estudio a fin evitar cualquier tipo de discrepancia legal o administrativa al momento efectuar proyectos de infraestructura, recibir subsidios del Estado o efectuar transacciones entre privados. Estas recomendaciones se basan netamente en lo dispuesto en el Código de Aguas vigente, DFL 1.122 de 1981 modificado por la Ley 20.017 de 2005.

En primer lugar es importante destacar que las inscripciones de los derechos de aprovechamiento de los canales Arriba y Abajo de Catemu (1947) son anteriores al Código de Aguas vigente, por lo que no fueron objeto de muchos de los requisitos de justificación de uso para el otorgamiento de éstos, ni de la definición del derecho (caudal, punto de captación, etc.).

[12] Según criterios de la Resolución DGA N° 39 de 1984.
[13] Decreto del Ministerio de Obras Públicas N° 287 del 21 de Abril de 2008.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Distinto es el caso de los derechos del Canal Pepino o Huidobro, los cuales deben ser perfeccionados según el artículo 309° del Código de Aguas, indicando la equivalencia de las acciones a volumen por unidad de tiempo (artículo 7° del Código) correspondientes al caudal máximo legítimamente aprovechado en los cinco años anteriores a la fecha en que se produzca una controversia sobre su cuantía. Además se debe regularizar su condición en el Catastro Público de Aguas de la DGA, según los requisitos del artículo 122° del Código.

El perfeccionamiento de los derechos también es aplicable a los derechos individuales de los usuarios de todos canales. En estos casos también es importante tener en cuenta que pueden existir casos en donde se deba iniciar un proceso de regularización de los derechos de aprovechamiento inscritos solo en acciones o que sin poseer las inscripciones se pueda demostrar el uso ancestral de los derechos de aprovechamiento (artículo 2° y 4° transitorio). Además los usuarios de ex predios CORA y cuyos derechos de aprovechamiento fueron entregados por el SAG pueden regularizar su situación en base a lo señalado por el artículo 5° transitorio.

Otro aspecto de especial trascendencia para los canales Arriba y Abajo de Catemu es la notable diferencia que existe entre la capacidad de porteo de los canales y los derechos constituidos, expresados en términos de caudal.

El Informe Técnico realizado por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos SDT N° 165 de fecha Enero del 2004 y el Informe de Canales de Riego y Aforos de la Cuenca de la Segunda Sección del Río Aconcagua, Provincia de San Felipe, realizado por Alberto Undurraga en Febrero del 1998[14] realizan mediciones de la capacidad de los canales, la que se resume en el Cuadro 3.5.5-1.

El cuadro anterior muestra que en la actualidad los canales no poseen la infraestructura necesaria para captar y conducir los caudales que se posee por derecho y como consecuencia las organizaciones y los usuarios que los administran quedan afectos al cobro de patente por no uso de aguas superficiales, tal y como lo indica el artículo 129 bis 5.

En términos prácticos, el cobro podría traducirse en 1,6 UTM por cada litro por segundo no captado, según la capacidad de cada canal. Este monto se podría hacer efectivo desde el 1 de Enero del año 2006, por lo cual hasta el año 2010 correspondería un cobro por cinco años de no uso. Si la situación de capacidad de los canales se mantiene, entre el año seis y diez el cobro sería de 3,2 UTM por cada litro por segundo no captado y desde el año undécimo en delante de 6,4 UTM por cada litro por segundo no captado. Todos los procesos administrativos y legales en esta materia se encuentran en el Libro Primero, Título XI del

[14] Estudio realizado a petición de la Junta de Vigilancia de la Segunda Sección del río Aconcagua y presentado a la Dirección General de Aguas para su Inscripción en el Acto de Constitución de la Junta en el año 2002.

Código de Aguas y corresponde a parte de las modificaciones realizadas el año 2005 por la Ley 20.017.

CUADRO 3.5.5-1
CAUDALES MÁXIMOS EXTRAÍDOS, CAPACIDAD DE LOS CANALES Y DERECHOS CONSTITUÍDOS CANALES ARRIBA Y ABAJO DE CATEMU

Canales	Informe Técnico DGA Enero 2004		Informe Canales de Riego y Aforos Febrero 1998		Inscripción Fojas 55v Nº 82 1915 y ventas post.	Diferencia con Capacidad del Canal	
	Caudal Máximo Extraído periodo 1973-1983 (L/s)	Capacidad Máxima (L/s)	Caudal Aforado (L/s)	Capacidad Máxima (L/s)	Caudal Derechos (L/s)	Con DGA 2004 (L/s)	Con Undurraga 1998 (L/s)
Abajo de Catemu	2.000	2.500	1.250	1.600	6.000	3.500	4.400
Arriba de Catemu	3.700	4.000	2.500	3.000	6.924,9	3.800	4.800

Fuente: Informe Técnico DGA SDT Nº 65 (2002), Informe de Canales de riego y Aforos de la Cuenca de la Segunda Sección del Río Aconcagua, Provincia de San Felipe (1998) e inscripción Fojas 55v Nº 82 de 1915.

Finalmente, ya que el proyecto en estudio implica la unificación de bocatomas y el traslado total o parcial de los derechos de aprovechamiento de aguas de los canales Abajo Catemu y Pepino o Huidobro a un nuevo punto de captación, es necesario que se cumplan los procedimientos indicados en los artículos 151° a 157° del Código.

3.5.6. Síntesis de Resultados

Como síntesis final de los análisis anteriores se presenta el Cuadro 3.5.6-1 que contiene los valores de caudal a utilizar como referencia de los derechos de aguas de los tres canales en estudio. Cabe destacar que en el caso de los canales Arriba y Abajo de Catemu el valor corresponde a los derechos constituidos en el año 1915 y reconocidos por la DGA. Por su parte, para el canal Pepino, cuyos derechos no tienen equivalencia en caudal, se utilizará la capacidad máxima calculada por el estudio SDT Nº165 de la DGA (2004).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.5.6-1
VALORES DE CAUDAL DE DERECHOS DE AGUAS A UTILIZAR

Canales	Caudal (L/s)
Abajo de Catemu	6.000
Arriba de Catemu	6.924,9
Pepino o Huidobro	3.000
Total	**15.924,9**

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes recopilados

Estos valores serán la base para todos los estudios posteriores.

3.5.7. Factibilidad de Ejecución del Proyecto Bajo el Estado Actual de los Derechos de Aprovechamiento

Efectuado el análisis crítico de la documentación legal aportada, desde el punto de vista de esta factibilidad, es posible concluir que, en el estado actual de los derechos de aprovechamiento de los miembros de las organizaciones de usuarios involucradas, no sería factible proceder, de inmediato, a presentar una petición de traslado de los derechos (sea en forma total o parcial).

Ello obedece a que los títulos de los derechos de aprovechamiento no se encuentran ***perfectos***, en el sentido que a esta expresión le da el Código de Aguas; esto es, no cuentan con algunas de las características esenciales establecidas por el artículo 45 del Reglamento del Catastro Público de Aguas, concreta y principalmente, su medida en volumen por unidad de tiempo (litros por segundo) y la consignación de las características con que los derechos han sido reconocidos u otorgados (consuntividad, permanencia y continuidad).

Si bien las tres organizaciones de usuarios comprendidas en este estudio cuentan con su registro en la Dirección General de Aguas, ése corresponde al efectuado en el Registro de Organizaciones de Usuarios a cargo del Servicio, con el cual se entienden organizadas y existentes.

También los derechos de sus miembros están inscritos en el correspondiente Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces competente (en este caso, el de San Felipe).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

No obstante, no existe constanc a que los títulos *individuales* de cada uno de los miembros de esas organizaciones de usuarios se encuentren registrados en el *Catastro Público de Aguas* de la Dirección General de Aguas.

Éste corresponde a un inventario que lleva el Servicio con los derechos de aprovechamiento de aguas de los titulares que allí los registran.

Para ese fin, los derechos que son presentados para su registro deben estar "perfectos", en el sentido preciso que para ese término se desprende del artículo 45 del Reglamento del Catastro Público de Aguas: esto es, deben contener todas las menciones o características esenciales fijadas por esa norma, cuales son:

- Nombre del titular.
- El álveo o ubicación del acuífero de que se trata.
- Provincia en que se sitúe la captación y la restitución, en su caso.
- Caudal, de acuerdo a lo establecido en los artículos 7° y 268 del Código de Aguas.
- Aquellas características con que se otorga o reconoce el derecho, de acuerdo a la clasificación establecida en el artículo 12 del Código de Aguas; esto es, si se trata de un derecho consuntivo o no consuntivo; de ejercicio permanente o eventual; o de ejercicio continuo, discontinuo o alternado entre varias personas.

En caso que le falten algunas de esas características esenciales, no es posible registrarlos en el Catastro Público de Aguas sin haber sido *previamente perfeccionadas,* para agregarle tales menciones, lo que debe llevarse a cabo mediante un procedimiento judicial (un juicio sumario), según lo dispone expresamente el inciso final del mismo artículo 45 ya citado.

La necesidad de su registro en el Catastro Público de Aguas (y su consecuente y previo perfeccionamiento judicial) está dada por disposición expresa del artículo 33 del mismo Reglamento, en su inciso segundo, que dice:

> *"La Dirección General de Aguas no recepcionará solicitud alguna relativa a los derechos de aprovechamiento de aguas ... "* (señalando luego diversos casos de peticiones administrativas, tales como autorizaciones para cambio o unificación de bocatomas y traslados del ejercicio de derechos) *".... a menos que los interesados exhiban copia autorizada del registro respectivo en el Catastro Público de Aguas".*

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.5.8. Procedimientos Legales a Seguir para su Consecución

El perfeccionamiento de títulos de derechos de aprovechamiento debe llevarse a cabo mediante un procedimiento judicial, según mandato expreso del artículo 46 del Reglamento del Catastro Público de Aguas.

Ese procedimiento es un juicio sumario, que debe ser seguido en contra de la Dirección General de Aguas por los titulares de los derechos de aprovechamiento, con la finalidad que el Tribunal, mediante una sentencia, reconozca y establezca las características esenciales que faltan a sus derechos.

Como el juicio debe ser seguido contra el Servicio y su representante legal es el Director General, puede ser deducida la demanda ante los juzgados civiles de Santiago o bien ante el juzgado civil con competencia en el lugar de la inscripción de los derechos (San Felipe).

Es perfectamente posible y recomendable que la demanda sea dirigida por una pluralidad de titulares en contra del Servicio, pues todos estarán buscando lo mismo: Establecer un caudal en litros por segundo para sus acciones y consignar sus características de ser permanentes, consuntivos y continuos.

Como antecedentes probatorios, deberán acompañar al juicio copias auténticas y con certificación de vigencia, de la inscripción de sus derechos en el Registro de Propiedad de Aguas (tantas copias como sean los demandantes), además de copia de inscripción de la propia organización de usuarios.

Es probable que existan mutaciones o cambios en el dominio en los derechos, desde la época en que se practicó la inscripción en el Conservador hasta el día de hoy, caso en el cual deberá ser relatada la secuencia de mutación que existió, hasta llegar a su actual titular.

Ello obedece a lo siguiente:

> "Como el juicio tiene por finalidad establecer características esenciales que faltan a los derechos, una vez que ellas sean fijadas por la sentencia que se dicte, en virtud del principio de la continuidad de las inscripciones en el Conservador de Bienes Raíces, deberá practicarse una nota al margen de cada uno de los títulos, que consigne las características y el caudal, y tantas notas como transferencias exista, hacia atrás, hasta llegar a la inscripción original de la organización".

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.c.

Ingresada la demanda, se resolverá citar a comparendo para la audiencia del quinto día hábil tras la última notificación, en la cual corresponderá a los demandantes (usuarios) ratificar su demanda y la documentación que se haya acompañado.

Con lo que exponga la Dirección General de Aguas (si concurre a la audiencia) o en su rebeldía (inasistencia), el tribunal deberá dictar una resolución que llama a probar lo expuesto en la demanda; esto es, los caudales que se aducen y la circunstancia de ser derechos de tipo consuntivo, permanente y continuo. Además, normalmente suele pedir un informe a la propia Dirección General de Aguas.

Rendida la prueba y recibido el informe, el juzgado estará en condiciones de dictar sentencia, de la cual deberá tomarse nota al margen de cada una de las inscripciones de los titulares de derechos.

Cumplido ello, deberá pedirse copias autorizadas y con vigencia de esas inscripciones, con las notas marginales practicadas, para ser ingresadas a registro en el Catastro Público de Aguas y emitirse así el pertinente certificado, documento esencial para cualquier trámite que desee hacerse ante la Dirección General de Aguas.

3.5.9. Requisitos y Procedimiento de Tramitación para Materializar el Cambio de Punto de Captación de los Derechos de Aprovechamiento de los Canales Bajo y Pepino

Según las disposiciones legales y reglamentarias vigentes sobre la materia, todo cambio de punto de captación de derechos de aprovechamiento debe ser autorizado mediante resolución de la Dirección General de Aguas, correspondiente a la Dirección Regional competente, en el caso de estos canales, la de la Quinta Región de Valparaíso.

El procedimiento a seguir es el establecido en el párrafo 1° del Título I del Libro Segundo del Código de Aguas y que trata de las normas comunes a que debe sujetarse toda tramitación de solicitud elevada a dicha autoridad.

En resumen, los trámites a seguir son los siguientes:

a) Presentación de la solicitud de cambio de punto de captación: Corresponde a la petición que se eleva a la Dirección Regional de Aguas, solicitando se autorice el cambio de punto de captación de determinados derechos de aprovechamiento, que puede corresponder al total de los derechos o a una parte de ellos.

   En el caso que interesa, deberá ser ingresada en la repartición que tenga competencia territorial respecto del lugar geográfico en que se ubican las

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

bocatomas; como en este caso se encuentran ubicadas en una comuna correspondiente a la provincia de San Felipe, deberá ser ingresada en la respectiva Gobernación Provincial, toda vez que no existe oficina territorial de la Dirección General de Aguas en dicha provincia.

b) Publicación y radiodifusión de la solicitud: Un extracto o resumen de la petición debe ser publicado y radiodifundido de la siguiente forma:

- Una publicación en el Diario Oficial de los días 1° o 15 de cada mes, o al día siguiente hábil si esos días corresponden a feriados.
- Una publicación, en un día cualquiera, en un diario de Santiago (se acepta publicaciones en el diario electrónico La Nación).
- Una publicación, en un día cualquiera, en un diario o periódico de la provincia (en este caso, de San Felipe); en caso de no haberlo, en un diario o periódico de la capital de la región (que vendría a ser Valparaíso).
- Emisión de tres avisos radiales, dentro de un mismo día, que deberá ser 1° o 15 de cada mes, o día siguiente hábil, entre las 08:00 y las 20:00 horas, en una de las radioemisoras contenidas en una lista previamente fijada por la Dirección General de Aguas.

c) Plazo de oposiciones: Dentro del plazo de 30 días corridos desde la última publicación, quienes se sintieren afectados en sus derechos podrán deducir oposiciones a la solicitud.

d) Contestación de las oposiciones: De la oposición que se dedujere debe ser conferido "traslado" a los solicitantes (esto es, la oposición es enviada con un oficio por el Gobernador Provincial a los peticionarios), quienes disponen de 15 días corridos para contestar.

e) Envío de antecedentes a la Dirección Regional de Aguas: Una vez cumplido el plazo para deducir oposiciones, si no se han presentado, o vencido el plazo de contestación de la que se haya deducido, se haya o no respondido, la Gobernación Provincial remite los antecedentes a la Dirección Regional de Aguas, la cual ordena la apertura de expediente administrativo bajo la clave "VT" (traslados), asignando un número correspondiente a la región y provincia y el correlativo correspondiente.

f) Revisión de documentación y petición de antecedentes adicionales y de fondos para visita a terreno: La Dirección Regional efectúa una revisión de los antecedentes que le han sido derivados por la Gobernación Provincial, para determinar si hay documentación faltante, tanto de carácter técnico como legal,

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

y si es del caso los solicita, junto con pedir una determinada suma de dinero para cubrir los costos de la visita a terreno que debe preceder al Informe Técnico.

g) Visita a terreno: El personal del Servicio se constituye en terreno, esto es, visita el lugar al cual pretenden ser trasladados los derechos, para verificar la precisión de los datos aportados por el peticionario y comprobar si es posible acceder a la solicitud.

h) Informe Técnico: Es el documento interno del Servicio que constituye el fundamento o base de la resolución que debe ser dictada, acogiendo o denegando la solicitud, preparado principalmente en base a lo recogido en la visita a terreno.

i) Resolución: Es el acto administrativo final del Servicio, que se pronuncia acogiendo o denegando la solicitud de traslado del derecho, que debe ser debidamente fundamentado y notificado al peticionario.

En caso de ser favorable, debe ser reducido a escritura pública, suscrita por el peticionario o su representante y el Director Regional correspondiente, y esta luego debe ser inscrita en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces competente, para hacer constar en forma pública que los derechos otorgados pueden ser extraídos desde otro lugar, dando así término a la tramitación.

j) Recursos: En el caso que la resolución dictada sea desfavorable y deniegue el traslado solicitado, es posible deducir dos tipos de recursos:

- El recurso de reconsideración, que se interpone ante el Director General de Aguas, para que éste deje sin efecto lo resuelto por el Director Regional y acoja la petición (dentro del plazo de 30 días desde la notificación de la resolución que se impugna).
- El recurso de reclamación, que se interpone ante la Corte de Apelaciones respectiva (la de competencia en el lugar de la Dirección Regional, en este caso, la de Valparaíso), con la misma finalidad y dentro de igual plazo.

Es posible escoger entre uno u otro, o bien deducirlos en forma secuencial, interponiendo primero el de reconsideración y, en caso de resolución negativa del Director General de Aguas, deducir el de reclamación ante la Corte de Apelaciones de Santiago, por tener allí su asiento la Jefatura Superior del Servicio.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.5.10. Compatibilidad de los Derechos de Aprovechamiento de los Canales con el Proyecto Hidroeléctrico

En relación con este punto, es necesario efectuar un distingo previo:

A) Derechos de aprovechamiento actualmente existentes: Es perfectamente compatible la utilización que de estos derechos se haga en regadío, con su empleo en generación hidroeléctrica, toda vez que ésta no significa un uso consuntivo de los mismos; esto es, no desaparece el agua como tal, siempre y cuando su utilización en generación no implique un perjuicio o detrimento en la calidad y cantidad de las aguas, junto a la oportunidad de su disposición por los regantes.

B) Derechos de aprovechamiento *no* consuntivos (a solicitar): Sin perjuicio de lo anterior, esto es, utilizar los derechos actualmente existentes para generación hidroeléctrica, existe la posibilidad de solicitar, en calidad de *no* consuntivos, los derechos de los regantes cuyas captaciones se encuentren ubicadas *aguas abajo* de las bocatomas de los canales involucrados en el proyecto, puesto que de ellas se haría una utilización, como lo dice su nombre *no* consuntiva.

Se captarían del río, se introducirían a los canales para su conducción hasta el punto en que se ubique la central, y luego de empleadas en ese fin serían restituidas al cauce, para su posterior captación por los regantes que ostenten derechos sobre ellas, sin que ello signifique merma o perjuicio para los mismos.

3.5.11. Compatibilidad del Proyecto con el Pago de Patente por No Uso de las Aguas

Al igual como se ha hecho en el Acápite 3.5.5 que precede, la respuesta a esta interrogante debe ser abordada con igual distinción; esto es, entre los derechos que actualmente poseen los regantes y los posibles derechos *no* consuntivos que fuesen solicitados y otorgados por la autoridad:

A) Pago de patente por derechos de aprovechamiento actualmente existentes: En la medida que una parte de los derechos de aprovechamiento de titularidad de los miembros de las organizaciones, de tipo *naturalmente* consuntivo, no esté siendo utilizada para el fin con que fueron concebidos y otorgados, esto es, el regadío de predios agrícolas, deberán pagar patente, aplicándose al respecto la normatividad que al efecto establece el Código de Aguas, sin que pueda invocarse, como excusa para excepcionarse del pago, la circunstancia que tales derechos estén siendo empleados en generación hidroeléctrica, toda

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

vez que esta particular utilización es de tipo *no* consuntiva; esto es, aunque se use para fin de generación, no se está *consumiendo* el agua.

Dicho de otra manera, *un empleo no consuntivo del agua no transforma el derecho de consuntivo en no consuntivo.*

B) Pago de patente por derechos de aprovechamiento *no consuntivos* que se solicitaren y otorgasen: Distinta es la situación en que podrían encontrase estos derechos, en la medida que se optase por la propuesta contenida en la letra B) del Acápite 3.5.5 que precede, siempre que ellos fuesen utilizados en su totalidad en generación hidroeléctrica, o al menos la parte de caudal no empleada en tal fin quedase bajo los umbrales fijados en el Código de Aguas para hacer procedente el pago de patente.

O sea, se aplicarían a su respecto las normas sobre pago de patentes de derechos *no* consuntivos, con sus márgenes de excepción y tasas fijadas por el citado cuerpo legal.

3.5.12. Eventuales Limitantes Legales para las Organizaciones de Usuarios (de Intervenir en la Generación de Hidroelectricidad

Del análisis de las disposiciones legales que las rigen y del propio concepto o definición que de ellas la doctrina ha elaborado, es posible inferir que las organizaciones de usuarios, sea cual sea la especie que adopten (asociaciones de canalistas o comunidades de agua, en el caso de este Proyecto), no pueden intervenir, *como tales*, en esta actividad económica.

En efecto, existe acuerdo en la doctrina en concebirlas como entidades, que pueden o no tener personalidad jurídica, que se encuentran regidas por el Código de Aguas y otros cuerpos normativos, cuyo objeto, en síntesis, es administrar las fuentes de aguas y obras por medio de las cuales son extraídas, captadas y conducidas; distribuir ese recurso entre sus miembros integrantes y eventualmente resolver conflictos entre esos usuarios con la respectiva organización o entre dichos miembros, entre sí.

Como puede observarse, tienen un fin específicamente definido y están detalladamente reguladas por la legislación y reglamentación sobre la materia, en términos tales que no permiten otras actividades fuera de las anteriores.

Para solucionar ello y poder intervenir en esta actividad económica, los miembros integrantes de las organizaciones, que son los titulares de los derechos de aprovechamiento, deberían constituirse en alguna forma de persona jurídica con fin de lucro, esto es, una sociedad comercial (anónima o de responsabilidad limitada, por ejemplo), específicamente

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

creada con tal fin, dando cumplimiento a toda la normatividad existente al respecto en cuanto a la formalidades de su constitución (escritura, inscripción, eventual publicación, etc.).

3.6. DIAGNÓSTICO DE INFRAESTRUCTURA

3.6.1. Planteamiento de la Problemática

Actualmente, la problemática que enfrentan los regantes del valle de Catemu (canales Catemu del Alto, Catemu del Bajo y Pepino o Huidobro) se pueden resumir en los aspectos que se detallan a continuación.

1. **Capacidad de Porteo Insuficiente:** En primer lugar, existe a juicio de los mismos regantes, un problema importante en la capacidad de sus canales, ya que estos no poseerían la capacidad de porteo suficiente para conducir los caudales correspondientes a la totalidad de los derechos inscritos, tal como se muestra en el Cuadro 3.6.1-1.

CUADRO 3.6.1-1
CAPACIDAD DE CANALES V/S CAUDAL INSCRITO

Canal	Caudal máximo extraído según DGA (*) (m^3/s)	Caudal según derechos inscritos (m^3/s)
Catemu del Alto	3,70	7,80
Catemu del Bajo	2,00	6,00
Pepino	1,65	--

(*) Informe técnico DGA S.D.T. 165 (2004)
Fuente: Elaboración propia

2. **Pérdidas por Conducción:** Actualmente existen elevadas pérdidas de agua, alrededor del 50%, según lo observado por los propios regantes del canal, en la extensa conducción por los canales matrices en ladera de cerro.

3. **Acumulación de Sedimentos:** En la actualidad existen serios problemas debido a la acumulación de los sedimentos que transportan los canales. Estos provendrían tanto de la fuente de captación (río Aconcagua) como de las laderas de los cerros debido al arrastre de material durante los eventos de lluvia. Este problema repercute directamente en la disminución de la capacidad de los canales, provocando su embancamiento en determinados puntos y por consiguiente problemas de desbordes e inundaciones.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

A partir del problema ya descrito surge un segundo no menos importante, y es que no se sabe donde disponer estos sedimentos. Históricamente, los sedimentos extraídos de los canales han sido acumulados en las riberas de los mismos, dentro de la faja expropiada, sin embargo con el tiempo se han ido formando grandes montículos a ambos costados de los canales, llegando a copar totalmente el espacio disponible dentro de la faja y alcanzando alturas que imposibilitan seguir realizando las mismas labores. A esto se suma el hecho de que en gran parte del recorrido, los canales no tienen acceso, por lo tanto tampoco se puede transportar a otros sectores con facilidad. Este aspecto puede transformarse en una seria limitante con el tiempo, encareciendo los costos de operación y mantención.

4. **Derrumbes y Deslizamientos:** Las laderas de los cerros donde se localizan los canales matrices, se caracterizan por su tendencia a derrumbes y deslizamientos, especialmente de maicillos o suelo de baja cohesión que caen sobre los cauces de los canales. Esto sumado al exceso de humedad provoca la desestabilización de los taludes y laderas, generándose así derrumbes, rebalses, o roturas del borde que ponen en riesgo a la población y a la propiedad y producción agrícola y urbana del pueblo de Catemu. La Figura 3.6.1-1 muestra una vista del Canal Catemu del Alto en la ladera de cerro, que permite comprender las condiciones físicas que originan los problemas antes descritos.

5. **Pérdidas Producto de la Presencia de Roedores:** En el sector de Las Marías, existen pérdidas ocasionados por roedores que cavan túneles en los canales, aumentando la infiltración y provocando pequeños desprendimientos y daños al canal.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.6.1-1
VISTA CANAL CATEMU ALTO

3.6.2. Diagnóstico Infraestructura

El presente acápite muestra los resultados del catastro realizado en los canales principales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y del canal principal Pepino y sus canales secundarios Los Silos, San José y Santa Margarita.

Para la obtención de este producto, cada canal fue recorrido en terreno registrando, describiendo y georreferenciando las distintas obras o singularidades presentes en dichos canales. Las campañas de terreno fueron realizadas durante el mes de junio del año 2011 y se contó con la guía de los celadores de la zona en los distintos sectores.

3.6.2.1. Fichas

Se confeccionó una ficha tipo en la que se indican las principales características de la infraestructura catastrada entre las que se encuentran las dimensiones, estado de conservación y ubicación en coordenadas UTM 19 Sur, Datum WGS 84.

Para diferenciar el tipo de infraestructura se generó un código interno que se ha incluido en las fichas. Esta codificación permitió procesar la información y construir los cuadros de resumen del diagnóstico. En el Cuadro 3.6.2.1-1 se presentan los códigos de las obras catastradas.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.6.2.1-1
TIPO DE INFRAESTRUCTURA Y/O SINGULARIDAD:
CÓDIGO REPRESENTATIVO

BOCATOMA	CÓDIGO
BOCATOMA HORMIGON	B1
BOCATOMA MAMPOSTERIA	B2
BOCATOMA RÚSTICA	B3
REPARTIDOR DE CANALES	B4
ENTREGAS (ES: CANAL SECUNDARIO, EP: ENTREGA PREDIAL)	
COMPUERTA METALICA MANUAL	E/S/P1
COMPUERTA METALICA CON VOLANTE	E/S/P2
COMPUERTA MADERA MANUAL	E/S/P3
COMPUERTA DE TIERRA	E/S/P4
MARCO PARTIDOR	E/S/P5
ENTREGA CON BOMBA A CASA / PREDIO	E/S/P6
ENTREGA SIN COMPUERTA	E/S/P7
OBRAS DE CRUCE AL CANAL	
CRUCE DE TUBERÍA	C1
CRUCE DE CANAL	C2
CRUCE CANOA	C3
PASARELA	C4
PUENTE	C5
BADÉN	C6
OTRAS INTERVENCIONES	
CAMBIO DE SECCIÓN	O1
CAMBIO DE MATERIAL	O2
REVESTIMIENTO HORMIGON	O3
REVESTIMIENTO MAMPOSTERIA	O4
VERTIENTES	O5
DESCARGAS / DEVOLUCIONES	O6
DERRAMES AL CANAL	O7
ATRAVIESO DE QUEBRADA	O8
TRAMO EN CANOA	O9
TRAMO EN TUBERÍA	O10
TRAMO EN TUNEL	O11
PUNTO REFERENCIAL	PU
BOTADERO	BOT
INICIO CANAL	INICIO

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniena.cl

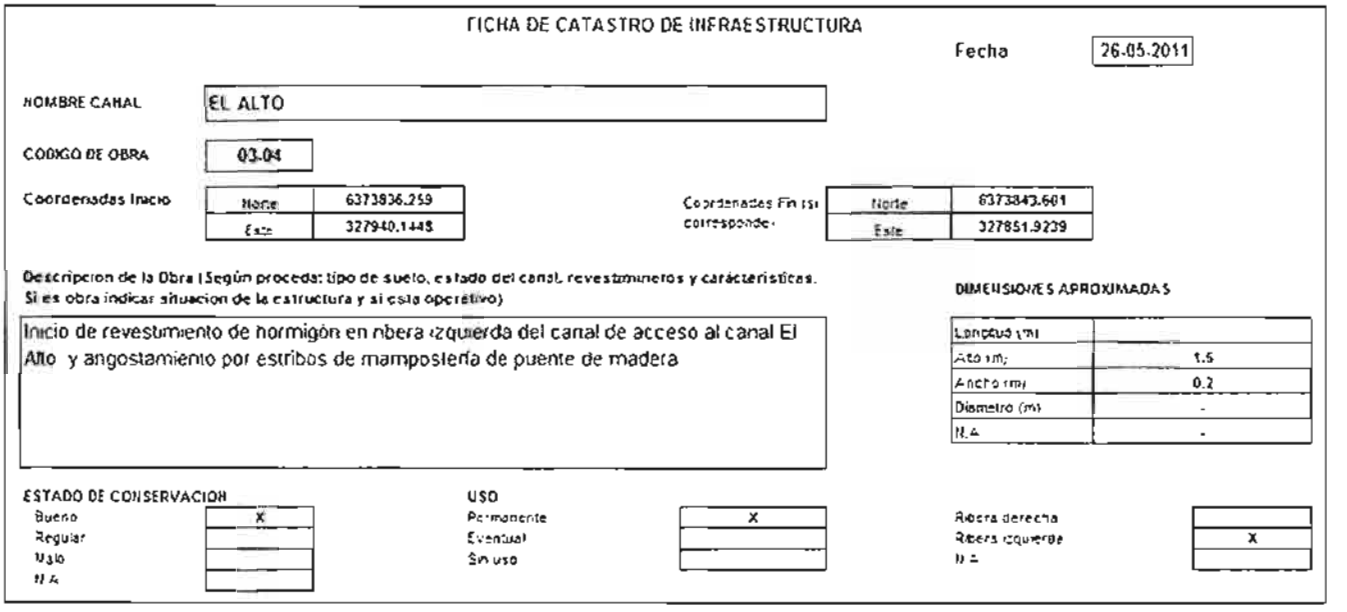
El código de una ficha puede eventualmente estar formado por dos códigos. Esto sucede por ejemplo cuando existe un cambio de material y un limnímetro en el mismo punto, entonces el código de la ficha sería O2-LIM.

En la Figura 3.6.2.1-1 se muestra la parte superior de la ficha, en donde se incluye los datos referentes a la infraestructura catastrada.

La ficha incluye en su parte inferior, un registro fotográfico y una monografía de la Infraestructura. En la Figura 3.6.2.1-2 se muestra un ejemplo de monografia y el registro fotográfico

Las Fichas de Catastro de los canales se incluyen en el Anexo 3-20.

FIGURA 3.6.2.1-1
FICHA CATASTRO EJEMPLO (PARTE SUPERIOR)



FICHA DE CATASTRO DE INFRAESTRUCTURA

Fecha: 26.05.2011

NOMBRE CANAL: EL ALTO

CODIGO DE OBRA: 03-04

Coordenadas Inicio		
	Norte	6373836.259
	Este	327940.1448

Coordenadas Fin (si corresponde)		
	Norte	6373843.601
	Este	327851.9239

Descripcion de la Obra (Según proceda: tipo de suelo, estado del canal, revestimientos y características. Si es obra indicar situacion de la estructura y si esta operativo)

Inicio de revestimiento de hormigón en ribera izquierda del canal de acceso al canal El Alto y angostamiento por estribos de mampostería de puente de madera

DIMENSIONES APROXIMADAS

Largo (m)	
Alto (m)	1.5
Ancho (m)	0.2
Diametro (m)	-
N.A	-

ESTADO DE CONSERVACION	
Bueno	X
Regular	
Malo	
N.A	

USO	
Permanente	X
Eventual	
Sin uso	

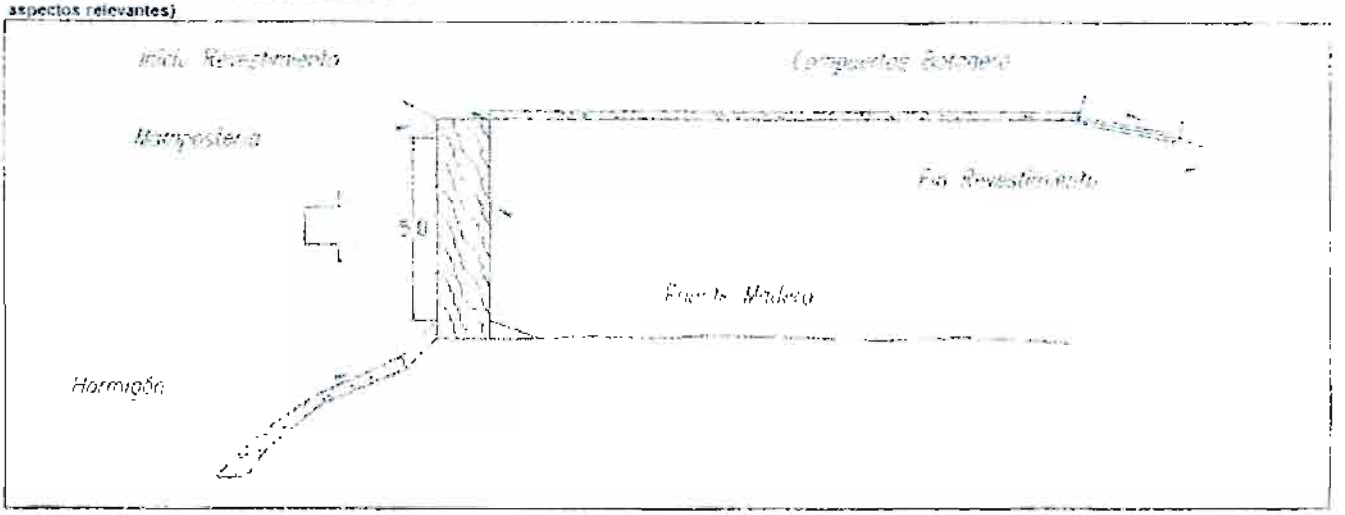
Ribera derecha	
Ribera izquierda	X
N.A	

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

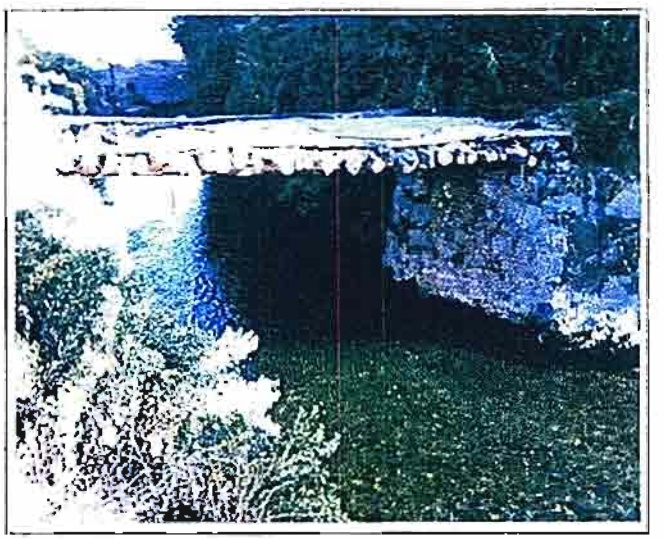
FIGURA 3.6.2.1-2
FICHA CATASTRO EJEMPLO (PARTE INFERIOR)

Monografía (Esquema de la geometría de la sección o obra, con las dimensiones y aspectos relevantes)



REGISTRO FOTOGRÁFICO **TERRENO I**

	Desde	Hasta
Fotos	97	100



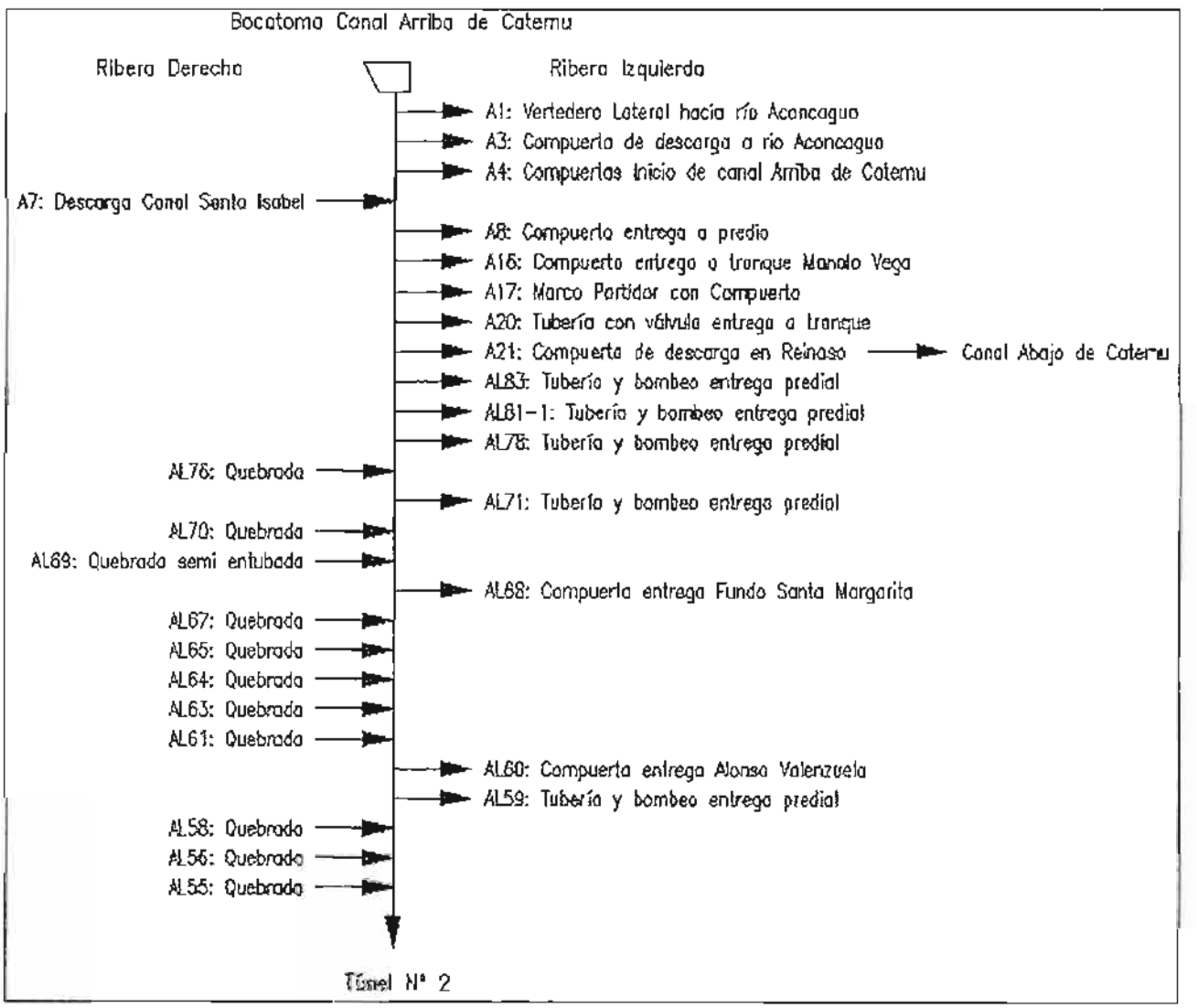
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.6.2.2. Diagrama Unifilar

A partir del catastro se elaboró un Diagrama unifilar actualizado (Figura 3.6.2.2-1 a Figura 3.6.2.2-2) de los canales Arriba Catemu, Abajo Catemu y el canal Pepino y sus derivados más importantes, donde se indican las entregas presentes en el área de estudio. Las entregas se presentan en la codificación "YX" donde "Y" corresponde al canal y "X" el número asignado a la obra catastrada, tal como se muestra en el Cuadro 3.6.2.2-1.

FIGURA 3.6.2.2-1
DIAGRAMA UNIFILAR ENTRADAS Y ENTREGAS CANAL ARRIBA DE CATEMU



Fuente: Elaboración propia

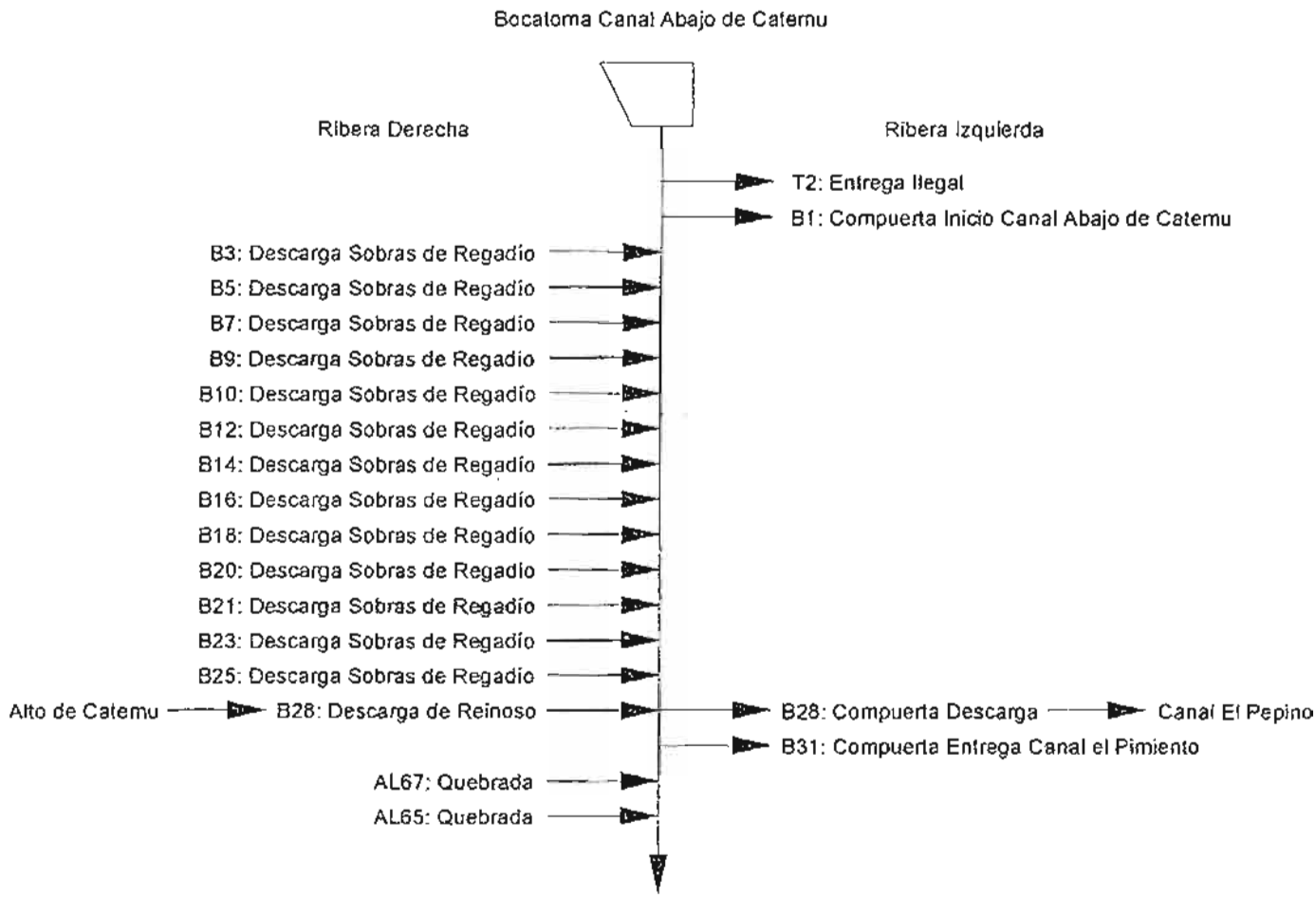
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.6.2.2-1
DECODIFICACIÓN DE X

X	Canal
A o AL	Arriba de Catemu o El Alto
B	Debajo de Catemu o El Bajo
T	Toma Unificada (El Bajo, Mercedes y Pepino)
EP	El Pepino o Huidobro
SNMG	Santa margarita
LS	D. Sitios San José
SNJ	San José

Fuente: Elaboración propia

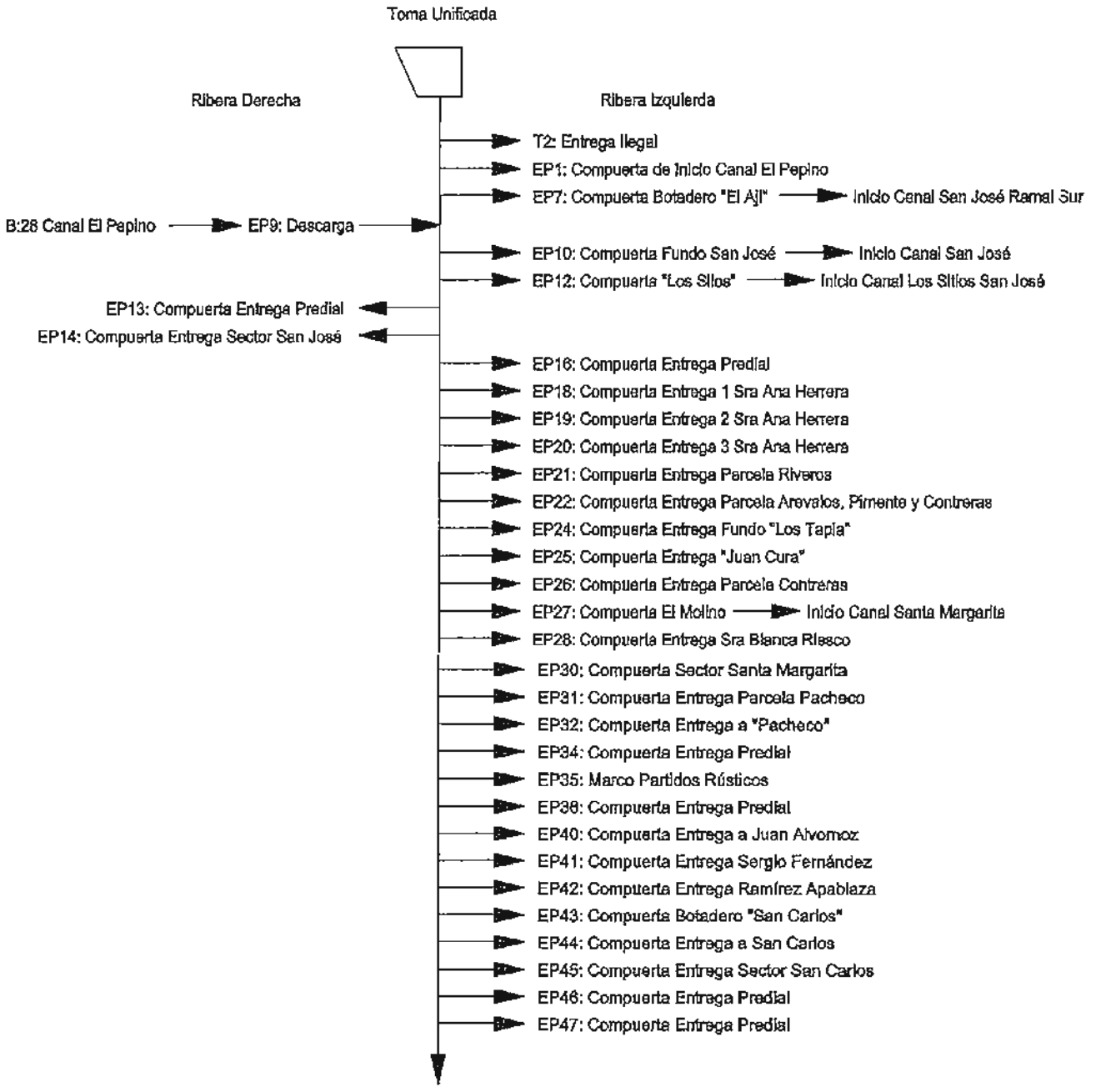
FIGURA 3.6.2.2-2
DIAGRAMA UNIFILAR ENTRADAS Y ENTREGAS CANAL ABAJO DE CATEMU



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

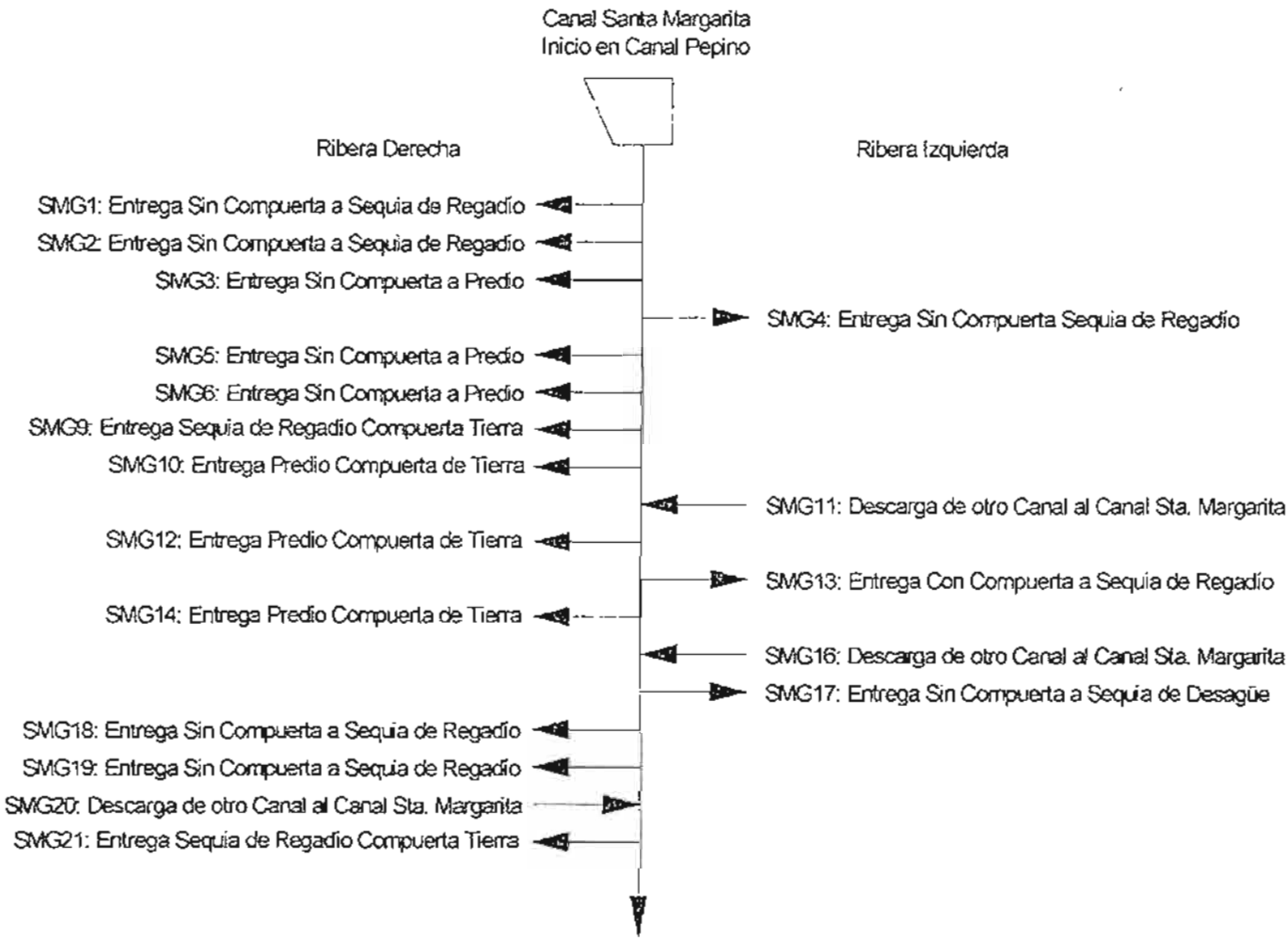
FIGURA 3.6.2.2-3
DIAGRAMA UNIFILAR ENTRADAS Y ENTREGAS CANAL EL PEPINO



Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

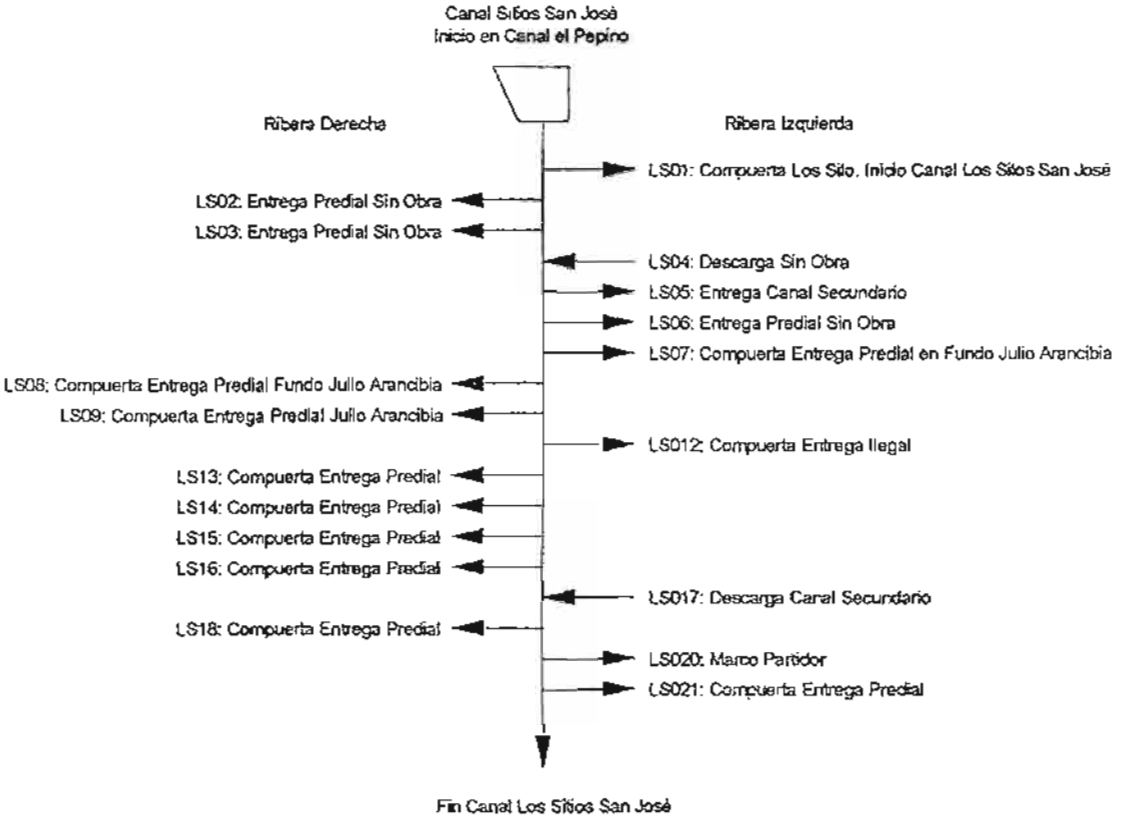
FIGURA 3.6.2.2-4
DIAGRAMA UNIFILAR ENTRADAS Y ENTREGAS CANAL SANTA MARGARITA



Fuente: Elaboración propia

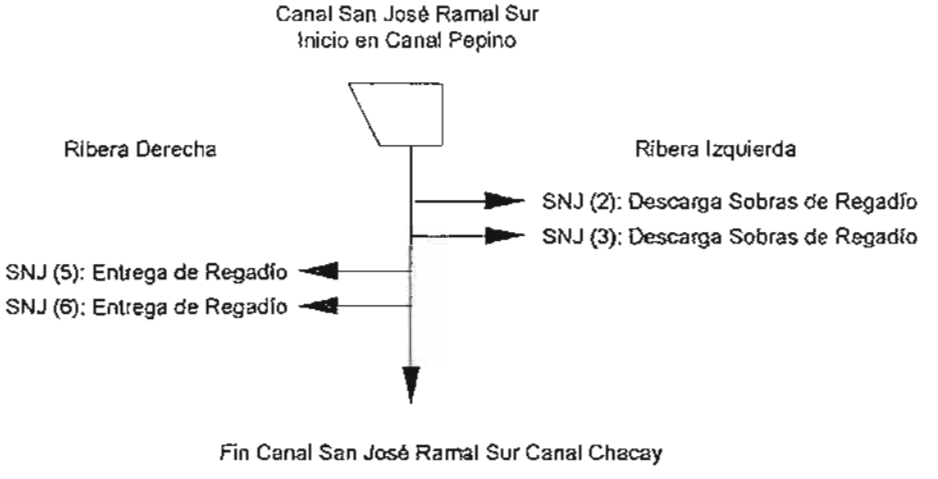
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.6.2.2-5
DIAGRAMA UNIFILAR ENTRADAS Y ENTREGAS CANAL LOS SITIOS SAN JOSÉ



Fuente: Elaboración propia

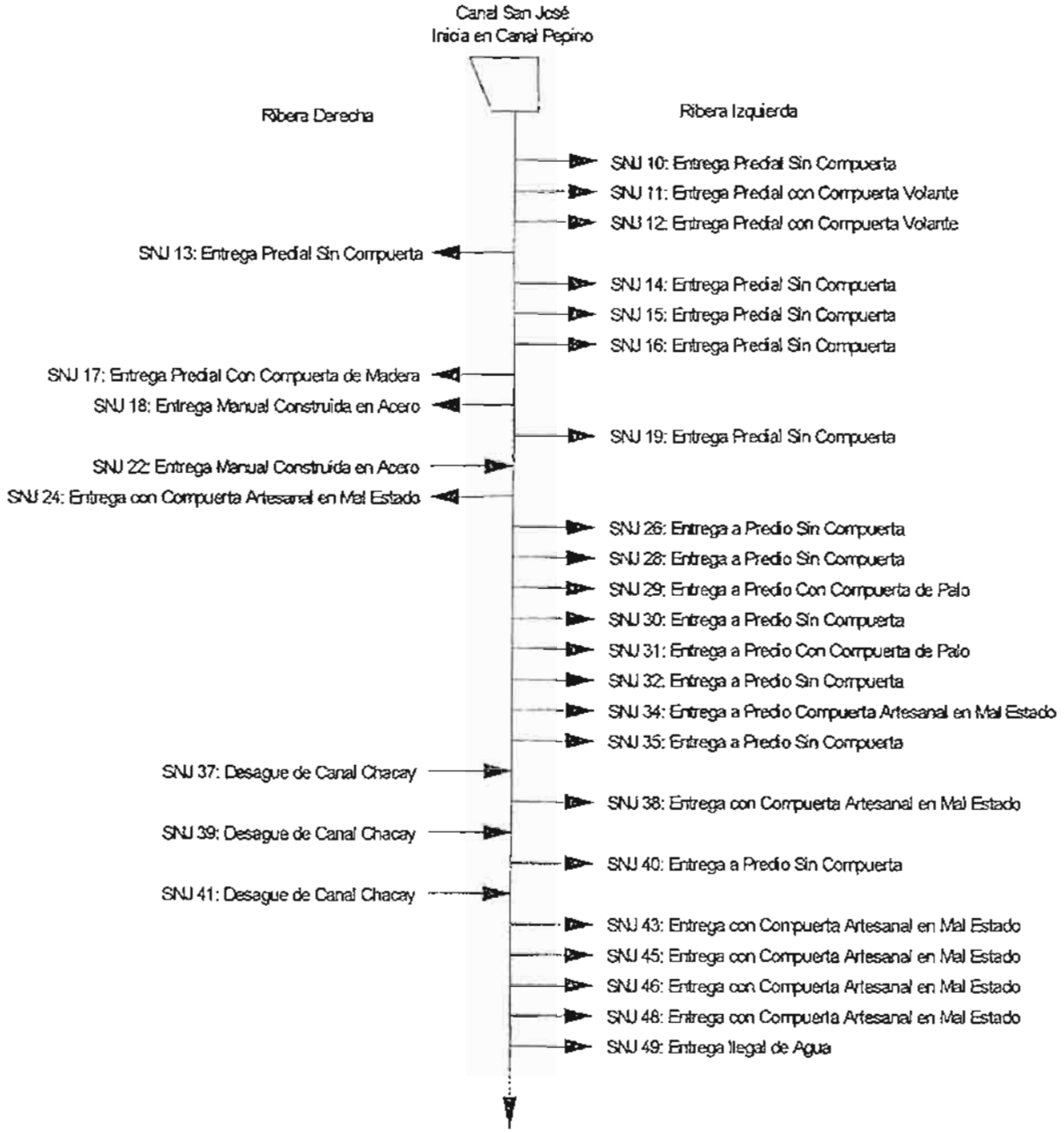
FIGURA 3.6.2.2-6
DIAGRAMA UNIFILAR ENTRADAS Y ENTREGAS CANAL SAN JOSÉ RAMAL SUR



Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santender 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniena.cl

FIGURA 3.6.2.2-7
DIAGRAMA UNIFILAR ENTRADAS Y ENTREGAS CANAL SAN JOSÉ



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.6.2.3. Resumen de Infraestructura Catastrada

A continuación se presentan los cuadros resúmenes que permiten obtener una visión general de la infraestructura de la zona de estudio.

En el Cuadro 3.6.2.3-1 se resume la cantidad y el tipo de infraestructura y/o singularidad por cada canal. Por otra parte, en el Cuadro 3.6.2.3-2 se indica el total catastrado por canal.

CUADRO 3.6.2.3-1
RESUMEN DE CATASTRO POR CANAL

Canal	Tipo de Infraestructura y/o singularidad Catastrada																
	B1	B3	C1	C2	C4	C5	C6	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EP6	EP7	ES1	ES2	ES3
CATEMU DEL ALTO			2		8	2	1			1	4		2	3			
CATEMU DEL BAJO			2		13								2	1			
EL PEPINO	1			2	11								24	3	1	1	
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ					3		1				13		1				
SECUNDARIO - SAN JOSÉ					4	1	2	1	8			12					
SECUNDARIO - SAN JOSÉ RAMAL SUR			1		1									1			
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA					1				3			3	1				
TOMA UNIFICADA		1							1								1
TOTAL	1	1	5	2	41	3	4	1	12	1	17	15	30	8	1	1	1
Canal	**ES4**	**ES6**	**ES7**	**FIN**	**GRD**	**LMT**	**O10**	**O11**	**O2**	**O3**	**O4**	**O6**	**O7**	**O8**	**O9**	**PU**	**ES4**
CATEMU DEL ALTO		1						2	20	3	1	1	2	11			
CATEMU DEL BAJO												14				1	
EL PEPINO					1	1			1				1				
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ		1										1					
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	4			1			6					2			1		4
SECUNDARIO - SAN JOSÉ RAMAL SUR			3									2					
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	2		6									3			2		2
TOMA UNIFICADA																	
TOTAL	6	2	9	1	1	1	6	2	21	3	1	23	3	11	3	1	6

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En los Cuadros 3.6.2.3-3 al 3.6.2.3-9 se presenta en detalle la infraestructura por canal, indicando el estado, uso, ubicación respecto a las riberas del canal y Nº de ficha.

CUADRO 3.6.2.3-2
TOTAL CATASTRADO POR CANAL

Canal	Total
CATEMU DEL ALTO	64
CATEMU DEL BAJO	33
EL PEPINO	46
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	20
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	42
SECUNDARIO - SAN JOSÉ RAMAL SUR	8
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	21
TOMA UNIFICADA	2
TOTAL	236

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.6.2.3-3
INFRAESTRUCTURA Y/O SINGULARIDADES CANAL ARRIBA DE CATEMU

Nombre Canal	Código Obra	Ficha	Estado de conservación	Uso	Ribera
CATEMU DEL ALTO	O11	AL46	Regular	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL47	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL48	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL49	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL50	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL51	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL52	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL53	Regular	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL54	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O8	AL55	Malo	Eventual	Derecha
CATEMU DEL ALTO	O8	AL56	Malo	Eventual	Derecha
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL57	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O8	AL58	Malo	Eventual	Derecha
CATEMU DEL ALTO	EP6	AL59	Regular	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	EP1	AL60	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O8	AL61	Malo	Eventual	Derecha
CATEMU DEL ALTO	C5	AL62	Regular	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	O8	AL63	Regular	Eventual	Derecha
CATEMU DEL ALTO	O8	AL64	Regular	Eventual	Derecha
CATEMU DEL ALTO	O8	AL65	Regular	Eventual	Derecha
CATEMU DEL ALTO	C5	AL66	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	O8	AL67	Regular	Eventual	Derecha
CATEMU DEL ALTO	ES1	AL68	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O8	AL69	Regular	Eventual	Derecha
CATEMU DEL ALTO	O8	AL70	Malo	Eventual	Derecha
CATEMU DEL ALTO	EP6	AL71	Regular	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL72	Regular	Permanente	Izquierda

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.6.2.3-3
INFRAESTRUCTURA Y/O SINGULARIDADES CANAL ARRIBA DE CATEMU

Nombre Canal	Código Obra	Ficha	Estado de conservación	Uso	Ribera
CATEMU DEL ALTO	O8	AL76	Regular	Eventual	Derecha
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL77	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	EP6	AL78	Regular	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL79	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL80	Regular	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL81	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	ES6	AL 81 1-2	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL82	Regular	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	EP6	AL83	Regular	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL84	Regular	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL85	Regular	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	AL86	Regular	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	BOT	A1	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O3-O4	A2	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	BOT	A3	Regular	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	INICIO	A4	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	O4-LMT	A5	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	C1	A6.1	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	C5	A6.2	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	C1	A6.3	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	O7	A7.1	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	C5	A7.2	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	O7	A7.3	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	ES1	A8	Bueno	Eventual	Central
CATEMU DEL ALTO	O2-O3-LMT	A9	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	O2-O4	A10	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	C5	A11	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	C5	A12	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	O3	A13	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	O11	A14	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	C5	A15	Regular	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	EP1	A16	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	EP5	A17	Regular	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	C5	A18	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	O3	A19	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL ALTO	EP2	A20	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL ALTO	BOT	A21	Bueno	Permanente	Izquierda

Nota: N/A: No hay una obra que conservar, por lo tanto, no corresponde
Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.6.2.3-4
INFRAESTRUCTURA Y/O SINGULARIDADES CANAL ABAJO DE CATEMU

Nombre Canal	Código Obra	FICHA	Estado de conservación	Uso	Ribera
CATEMU DEL BAJO	INICIO	B1	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	C5	B2	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	O7	B3	Regular	Permanente	Derecha
CATEMU DEL BAJO	C1	B4	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	O7	B5	Regular	Eventual	Derecha
CATEMU DEL BAJO	C5	B6	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	O7	B7	Regular	Eventual	Derecha
CATEMU DEL BAJO	C5	B8	Regular	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	O7	B9	Regular	Eventual	Derecha
CATEMU DEL BAJO	O7	B10	Bueno	Eventual	Derecha
CATEMU DEL BAJO	C5	B11	Regular	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	O7	B12	Regular	Eventual	Derecha
CATEMU DEL BAJO	C5	B13	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	O7	B14	Bueno	Eventual	Derecha
CATEMU DEL BAJO	C5	B15	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	O7	B16	Regular	Eventual	Derecha
CATEMU DEL BAJO	C5	B17	Regular	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	O7	B18	Regular	Eventual	Central
CATEMU DEL BAJO	C5	B19	Regular	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	O7	B20	Bueno	Eventual	Derecha
CATEMU DEL BAJO	O7	B21	Regular	Eventual	Derecha
CATEMU DEL BAJO	C5	B22	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	O7	B23	Bueno	Eventual	Derecha
CATEMU DEL BAJO	C5	B24	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	O7	B25	Bueno	Eventual	Derecha
CATEMU DEL BAJO	C5	B26	Regular	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	C1	B27	Bueno	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	BOT	B28	Bueno	Eventual	Izquierda
CATEMU DEL BAJO	PU	B29	Regular	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	C5	B30	Regular	Permanente	Central
CATEMU DEL BAJO	ES1	B31	Bueno	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL BAJO	ES1	B32	Malo	Permanente	Izquierda
CATEMU DEL BAJO	C5	B33	Regular	Permanente	Central

Nota: N/A: No hay una obra que conservar, por lo tanto, no corresponde
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.6.2.3-5
INFRAESTRUCTURA Y/O SINGULARIDADES CANAL EL PEPINO

Nombre Canal	Código Obra	FICHA	Estado de conservación	Uso	Ribera
EL PEPINO	INICIO	EP1	Bueno	Permanente	Central
EL PEPINO	LMT	EP2	Bueno	Permanente	Derecha
EL PEPINO	C5	EP3	Malo	Permanente	Central
EL PEPINO	C2	EP4	Bueno	Sin Uso	Central

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.6.2.3-5
INFRAESTRUCTURA Y/O SINGULARIDADES CANAL EL PEPINO

Nombre Canal	Código Obra	FICHA	Estado de conservación	Uso	Ribera
EL PEPINO	C5	EP5	Bueno	Permanente	Central
EL PEPINO	C2	EP6	Bueno	Permanente	Central
EL PEPINO	BOT	EP7	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	C5	EP8	Regular	Permanente	Central
EL PEPINO	O7	EP9	Bueno	Permanente	Derecha
EL PEPINO	ES1	EP10	Regular	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP12	Malo	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	GRD	EP13	Malo	Permanente	Derecha
EL PEPINO	ES1	EP14	Malo	Permanente	Derecha
EL PEPINO	C5	EP15	Malo	Permanente	Central
EL PEPINO	ES1	EP16	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	C5	EP17	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP18	Regular	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP19	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP20	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP21	Malo	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP22	Malo	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	C5	EP23	Regular	Permanente	Central
EL PEPINO	ES1	EP24	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP25	Malo	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP26	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES2	EP27	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP28	Malo	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	O2 - O4	EP29	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP30	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP31	Malo	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP32	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	C5	EP33	Regular	Permanente	Central
EL PEPINO	ES1	EP34	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES5	EP35	Regular	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP36	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	C5	EP37	Regular	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	C5 - C4	EP38	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	C5	EP39	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP40	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP41	Malo	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP42	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	BOT	EP43	Bueno	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES3	EP44	Malo	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP45	Malo	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP46	Regular	Permanente	Izquierda
EL PEPINO	ES1	EP47	Regular	Permanente	Izquierda

Nota: N/A: No hay una obra que conservar, por lo tanto, no corresponde
Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.6.2.3-6
INFRAESTRUCTURA Y/O SINGULARIDADES CANAL SITIOS SAN JOSÉ

Nombre Canal	Código Obra	FICHA	Estado de conservación	Uso	Ribera
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	ES1	LS01	Malo	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP6	LS02	Malo	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP6	LS03	Bueno	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	C5-C6	LS04	Regular	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	ES6	LS05	Malo	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP6	LS06	Regular	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	C5-EP6	LS07	Regular	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP2-EP1	LS08	Bueno	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP6	LS09	Regular	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	C5	LS10	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP6	LS11	Malo	Permanente	Central
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP6	LS12	Malo	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP6	LS13	Malo	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP6	LS14	Malo	Eventual	Derecha
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP6	LS15	Malo	Eventual	Derecha
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSE	EP6	LS16	Malo	Eventual	Derecha
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	O6	LS17	Regular	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP6-C5	LS18	Bueno	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP6	LS20	Bueno	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - LOS SITIOS SAN JOSÉ	EP6	LS21	Regular	Permanente	Izquierda

Nota: N/A: No hay una obra que conservar, por lo tanto, no corresponde
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.6.2.3-7
INFRAESTRUCTURA Y/O SINGULARIDADES CANAL SAN JOSÉ

Nombre Canal	Código Obra	FICHA	Estado de conservación	Uso	Ribera
SECUNDARIO - SAN JOSÉ RAMAL SUR	O6	SNJ 2	Bueno	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ RAMAL SUR	O6	SNJ 3	Malo	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ RAMAL SUR	ES2	SNJ 4	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ RAMAL SUR	ES7	SNJ 5	Bueno	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - SAN JOSÉ RAMAL SUR	ES7	SNJ 6	Bueno	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - SAN JOSÉ RAMAL SUR	C5	SNJ 7	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ RAMAL SUR	C1	SNJ 8	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ RAMAL SUR	ES7	SNJ 9	N/A	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP7	SNJ 10	Bueno	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP2	SNJ 11	Bueno	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP2	SNJ 12	Bueno	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP7	SNJ 13	Regular	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP7	SNJ 14	Malo	Eventual	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP7	SNJ 15	Regular	Eventual	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP7	SNJ 16	Regular	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP3	SNJ 17	Regular	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP1	SNJ 18	Bueno	Permanente	Derecha

ARRAU Ingenieria E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.6.2.3-7
INFRAESTRUCTURA Y/O SINGULARIDADES CANAL SAN JOSÉ

Nombre Canal	Código Obra	FICHA	Estado de conservación	Uso	Ribera
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP7	SNJ 19	Regular	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	C5	SNJ 20	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	C5	SNJ 21	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	O6	SNJ 22	N/A	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	C5	SNJ 23	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	ES4	SNJ 24	Malo	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	O9	SNJ 25	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP7	SNJ 26	Malo	Eventual	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	O10	SNJ 27	Regular	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP7	SNJ 28	Malo	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP4	SNJ 29	Malo	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP7	SNJ 30	N/A	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP4	SNJ 31	Malo	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP7	SNJ 32	Regular	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	O10	SNJ 33	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP4	SNJ 34	Regular	Eventual	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP7	SNJ 35	Regular	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	O10	SNJ 36	Regular	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	ES4	SNJ 37	Regular	Eventual	Derecha
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP4	SNJ 38	Regular	Eventual	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	ES4	SNJ 39	Regular	Eventual	Derecha
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP7	SNJ 40	Malo	Eventual	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	ES4	SNJ 41	Malo	Eventual	Derecha
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	O10	SNJ 42	Regular	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP4	SNJ 43	Malo	Eventual	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	O10	SNJ 44	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP4	SNJ 45	N/A	Eventual	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP4	SNJ 46	Malo	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	O10	SNJ 47	Regular	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	EP4	SNJ 48	Malo	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	O6	SNJ 49	N/A	Eventual	Izquierda
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	FIN	SNJ 50	N/A	Permanente	Central
SECUNDARIO - SAN JOSÉ	C5	SNJ 51	Regular	Permanente	Central

Nota: N/A: No hay una obra que conservar, por lo tanto, no corresponde
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.6.2.3-8
INFRAESTRUCTURA Y/O SINGULARIDADES CANAL SANTA MARGARITA

Nombre Canal	Código Obra	FICHA	Estado de conservación	Uso	Ribera
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	ES7	SNMG1	Regular	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	ES7	SNMG2	Regular	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	EP7	SNMG3	Malo	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	ES7	SNMG4	Malo	Eventual	Izquierda
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	EP7	SNMG5	Malo	Eventual	Derecha
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	EP7	SNMG6	Malo	Eventual	Derecha

CUADRO 3.6.2.3-8
INFRAESTRUCTURA Y/O SINGULARIDADES CANAL SANTA MARGARITA

Nombre Canal	Código Obra	FICHA	Estado de conservación	Uso	Ribera
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	O9	SNMG7	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	C5	SNMG8	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	ES4	SNMG9	Malo	Eventual	Derecha
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	EP4	SNMG10	Malo	Eventual	Derecha
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	O5	SNMG11	N/A	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	EP4	SNMG12	Malo	Eventual	Derecha
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	ES1	SNMG13	Regular	Eventual	Izquierda
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	EP4	SNMG14	Malo	Eventual	Derecha
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	O9	SNMG15	Bueno	Permanente	Central
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	O6	SNMG16	N/A	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	ES7	SNMG17	N/A	Permanente	Izquierda
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	ES7	SNMG18	N/A	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	ES7	SNMG19	N/A	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	O6	SNMG20	N/A	Permanente	Derecha
SECUNDARIO - SANTA MARGARITA	ES4	SNMG21	Malo	Eventual	Derecha

Nota: N/A: No hay una obra que conservar, por lo tanto, no corresponde
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.6.2.3-9
INFRAESTRUCTURA Y/O SINGULARIDADES TOMA UNFICADA

Nombre Canal	Código Obra	FICHA	Estado de conservación	Uso	Ribera
TOMA UNIFICADA	B3	T1	Malo	Sin Uso	Central
TOMA UNIFICADA	EP4	T2	N/A	Eventual	Izquierda

Fuente: Elaboración propia

Se han identificado tramos revestidos total o parcialmente, utilizando diferentes tecnologías. En el Cuadro 3.6.2.3-10 se resumen los tramos catastrados con sus respectivas longitudes aproximadas.

CUADRO 3.6.2.3-10
TRAMOS CATASTRADOS REVESTIDOS PARCIAL O TOTALMENTE

Ficha	Nombre Canal	Largo Apróx. (m)	Material	Parte	Ribera
A2	CATEMU DEL ALTO	32	Hormigón	Pared	Izquierda
A9	CATEMU DEL ALTO	150	Hormigón	Todo	Central
A10	CATEMU DEL ALTO	660	Mampostería	Pared	Izquierda
A13	CATEMU DEL ALTO	110	Mampostería	Pared	Izquierda
A14	CATEMU DEL ALTO	30	Mampostería	Pared	Izquierda
A14	CATEMU DEL ALTO	140	Roca Viva	En Túnel	Central
A19	CATEMU DEL ALTO	35	Mampostería	Pared	Central
A46	CATEMU DEL ALTO	190	Roca Viva	En Túnel	Central
SNJ 25	SECUNDARIO - SAN JOSÉ	8	Hormigón	Todo	Central

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.6.3. Conclusiones del Catastro y Diagnóstico

Del trabajo de catastro se puede concluir lo siguiente:

- En la zona catastrada, el canal Arriba de Catemu presenta un total de 11 entregas más 3 botaderos que a la vez funcionan como entregas, de las cuales 9 poseen compuerta, 5 son tubos de succión y existe un marco partidor con una compuerta que ya ha sido incluida. Dos de las compuertas cumplen con la función de derivar las aguas para realizar la limpieza del canal.
- El canal no posee una bocatoma, por lo que se debe hace una barrera cada año, utilizando maquinaria pesada, para transportar las aguas hacia la entrada del canal.
- Además posee 6 tramos parcial o totalmente revestidos y dos tramos en túnel. El revestimiento del canal se ha realizado principalmente por el desplome de su ribera izquierda.
- Este canal recibe las descargas de las 10 quebradas que escurren durante lluvias prolongadas. El canal funciona como barrera de protección para el canal Debajo de Catemu y Pepino. Las quebradas ensucian la sección del canal y aumentan el riesgo de desborde.
- El recorrido por las riberas del canal se hace dificultoso por la frondosidad de las plantas y el material que se ha retirado del canal que a veces alcanza hasta los 3 m de altura. En general, su infraestructura se mantiene en buen estado, condición que se ve favorecida por su difícil acceso.
- Los canales Pepino y Abajo de Catemu toman sus aguas en una toma unificada que al igual que en el canal Arriba de Catemu se debe hace una barrera cada año, utilizando maquinaria pesada, para transportar las aguas hacia la entrada del canal.
- El canal Abajo de Catemu presenta 4 compuertas, de las cuales 2 son entregas, una corresponde a la compuerta de entrada y una para realizar las faenas de mantención del canal.
- Durante su recorrido existen varios derrames provenientes de las sobras de los cultivos regados por las aguas del canal Arriba de Catemu.
- En general, la infraestructura se mantiene en buenas condiciones. El canal también presenta acumulación de material (sacado de los canales) en sus tramos de difícil acceso.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Por su parte el pepino presenta 28 entregas más 1 botadero que funciona como entrega también, equipadas con compuertas. Cuatro de las compuertas entregan sus aguas a los canales secundarios: San José, San José Ramal Sur, Sitios de San José y Santa Margarita.
- Se debe realizar el mantenimiento y reemplazo de gran parte de la infraestructura, ya que, alrededor del 40% se encuentra en mal estado. El canal presenta basura.
- Los canales secundarios del canal Pepino también presentan gran parte de su infraestructura en mal estado. Gran parte de las entregas se hace en forma rústica utilizando palos y barro, lo que dificulta el control de las aguas.

3.7. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ACTUAL DE LOS CANALES ARRIBA Y ABAJO DE CATEMU

3.7.1. Generalidades

En el presente acápite se realiza el análisis de la capacidad actual de los canales Arriba y Abajo de Catemu, y se compara con los resultados obtenidos en el estudio de Procivil, 1996.

La capacidad actual de estos canales condiciona la entrega de agua para riego, y por ende su seguridad, por lo que es un punto importante a considerar al momento de determinar el aumento de los beneficios agroeconómicos para la situación con proyecto, ya sea por la mayor rentabilidad de los cultivos, el aumento de la seguridad de riego y expansión de la zona de riego.

En el caso del canal Arriba de Catemu, se evaluó su capacidad entre los Km 0 y 17,6, y para el caso del canal Abajo de Catemu, se evaluó su capacidad entre los Km 16,1 y 17,6. Esta selección se debe a que estos son los tramos a revestir o abovedar para la alternativa seleccionada (Alternativa 4, ver Acápite 4.8), y por ende, los tramos donde el aumento de su capacidad influye en la evaluación económica.

La capacidad de porteo actual de estos canales se determinó a través del cálculo detallado del eje hidráulico de los sectores interés, apoyados en el levantamiento topográfico efectuado para esta consultoría y en los valores de las rugosidades obtenidas en los estudios anteriores.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.7.2. Parámetros Necesarios Para Evaluación de la Capacidad

Para determinar la capacidad actual de los canales se necesitan los siguientes parámetros:

- Secciones tipo de los canales:
  - Canal Arriba de Catemu: Tramo 1: km 0,00 al 15,79; Tramo 2: km 16,00 al 17,60.
  - Canal Abajo de Catemu: km 16,00 al 17,60
- Rugosidades del canal.

A partir de dichas características se determina el eje hidráulico del canal utilizando el software HEC-RAS, lo que permite visualizar la capacidad de ambos canales en las zonas de interés. Cabe mencionar que el levantamiento topográfico realizado para el tramo 1 del Canal de Arriba de Catemu (km 0,0 al 15,9), se realizó antes de la limpia de los canales, no así para el tramo 2, y para el Canal de Abajo de Catemu (km 16,1 al 17,6), donde el levantamiento se realizó luego de la limpia de los canales.

3.7.3. Antecedentes

De los estudios anteriores se obtuvieron antecedentes topográficos, análisis de rugosidad y puntos restrictivos de capacidad, los que se resumen en lo que sigue.

3.7.3.1. Rugosidad

Las rugosidades de los canal han sido analizadas por Procivil en el "Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Canales Catemu; Comuna de Catemu", V Región, 1996. En dicho estudio se realizaron aforos al inicio de la temporada de riego, con los canales recién limpiados, por lo cual se obtuvieron rugosidades bajas cercanas a los 0,025 (ver Cuadro 3.7.3.1-1).

Sobre la base de los resultados obtenidos en los aforos (Cuadro 3.7.3.1-1) y las recomendaciones de la literatura técnica, los estudios anteriores (Estudio a Nivel de Prefactibilidad de Procivil, Estudio de Diseño Electrowat) recomendaron los valores de rugosidad indicados en el Cuadro 3.7.3.1-2.

El valor reportado en el estudio de Electrowatt se determinó usando la ecuación de Horton, sin realizar aforos para realizar su calibración.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.7.3.1-1
RESUMEN DE AFOROS CANALES DE CATEMU Y ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES DE RUGOSIDAD

Aforo Nº	Canal	km	Q (m3/s)	A (m2)	R (m)	J	n	Suelo
1	Alto *	0,65	1,60	1,60	0,40	0,00190	0,024	tierra
3	Alto **	5,45	1,84	2,34	0,53	0,00232	0,035	roca
5	Alto	16,60	1,49	2,46	0,53	0,00045	0,023	tierra
2	Bajo	0,00	1,65	1,55	0,38	0,00313	0,027	tierra
4	Bajo	12,80	1,62	2,84	0,57	0,00052	0,027	tierra

* El caudal aumentó hacia a guas abajo en el tramo 0,65 a Km 13,3 por la incorporación de caudal en el tramo entre el Km 0 y 5,0 provenientes de los derrames de la Parcelación La Redonda, regada por el Canal Santa Isabel.

** La medida del caudal en este punto, se hizo en el Km 13,3 considerando dos situaciones: manteniendo el caudal y además añadiendo el caudal que podría extraer el marco en el Km 7,4.

Fuente: Estudio Procivil-DOH 1996

Donde

Q: Caudal
A: Área de flujo
R: Radio hidráulico
J: Pérdida de carga por metro lineal
n: Coeficiente de rugosidad de Manning

CUADRO 3.7.3.1-2
RECOMENDACIONES COEFICIENTE DE RUGOSIDAD POR ESTUDIOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Descripción	Coeficiente de rugosidad	Fuente
Para canal excavado en tierra	0,03	Procivil
Para canal excavado en roca	0,04	Procivil
Todo el tramo	0,03	Electrowatt

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados de la estimación de los coeficientes de rugosidad (Cuadro 3.7.3.1-1) y las recomendaciones de los estudios anteriores, en esta consultoría, para determinar el eje hidráulico y la capacidad actual de los canales, se considera un valor para la rugosidad de Manning de 0,028 para canales en tierra y de 0,040 para canales en roca. Este supuesto se basa en los bajos valores obtenidos para la rugosidad de los canales luego de la limpia, en que esta limpieza se realiza antes de los inicios de temporada de riego, donde la rugosidad debe aumentar a medida aumenta la vegetación al interior de los canales, lo cual se puede prevenir utilizando herbicida.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.7.3.2. Tramos restrictivos de capacidad

En el estudio de Procivil, se identifican cuatro tramos restrictivos de capacidad, los cuales se presentan en los primeros 12 km del canal Arriba de Catemu y se indican en el Cuadro 3.7.3.2-1.

CUADRO 3.7.3.2-1
TRAMOS RESTRICTIVOS DE CAPACIDAD
CANAL ARRIBA DE CATEMU

#	Inicio (km)	Fin (km)
1	4,05	4,11
2	4,41	4,84
3	5,30	5,38
4	11,28	11,57

Fuente: Estudio Procivil

En este mismo estudio se indican las capacidades características del canal Arriba de Catemu referidas al caudal en Bocatoma, en tres puntos de interés para este estudio, en los escenarios:

- Capacidad del Canal sin Embanque y sin revanchas
- Capacidad del canal con embanques en algunos tramos o canal limpio con revanchas.

Los resultados se obtenidos se presentan en el Cuadro 3.7.3.2-2

CUADRO 3.7.3.2-2
TRAMOS CARACTERÍSTICOS EN CUANTO A CAPACIDAD
CANAL ARRIBA DE CATEMU

Tramo Característico del canal	Capacidad del Canal Sin Embanque y Sin Revancha (m^3/s)	Capacidad del Embanque en Algunos Tramos o Canal Limpio Con Revancha (m^3/s)
Caudal Bocatoma	2,57	2,11
Marco Partidor Sta. Isabel Km 7,43	2,24	1,84
Sector Compuerta E. Pacheco M. Km 12,8	1,77	1,44

Fuente: Elaboración propia

3.7.3.3. Catastro

En el catastro realizado en el Acápite 3.6 de esta consultoría se identificó un puente en el Km 4,27 que posee una cota inferior igual a 515,4 m.s.n.m., menor a las riberas del canal Arriba de Catemu y por lo tanto, impedirá el flujo libre sobre dicha cota.

3.7.4. Modelación del Eje Hidráulico

Se utilizó el Software HEC-RAS para realizar la simulación del eje hidráulico de los canales Arriba y Abajo de Catemu, y determinar las capacidades máximas.

Para dicha modelación el Canal Arriba de Catemu se ha dividido en 2 tramos, con la siguiente cantidad de perfiles transversales:

- Tramo 1 (Km 0,00 al 15,79): 142 perfiles transversales, principalmente con una separación 100 m. Desde la entrada del Túnel 2 (Perfil 1) hasta la Bocatoma actual (Perfil 159).
- Tramo 2 (Km 16,10 al 17,60): 33 perfiles transversales con una separación de 50 m. Desde el Km 17,60 (Perfil 1) hasta la salida del Túnel 2 (Perfil 33).

En cuanto al Canal Abajo de Catemu, su levantamiento se realizó entre los Km 16,00 y 17,60, generando 35 perfiles transversales con una separación de 50 m, desde el Km 17,60 (Perfil 1) hasta su proyección perpendicular en la salida del Túnel 2 (Perfil 35).

3.7.4.1. Bases de Cálculo

Los perfiles de agua se calculan resolviendo la ecuación de la energía y utilizando un procedimiento llamado "paso a paso" o "paso estándar" entre una sección transversal y otra, que viene dado por la expresión:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde se tiene que:

WS1, WS2:	Elevaciones de la superficie del agua en las secciones transversales 1 y 2.
V1, V2:	Velocidades promedias (caudal/área de flujo).
α1, α2:	Coeficientes para ponderar las velocidades.
g:	Aceleración de gravedad.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

h_e: Pérdida de carga.

La pérdida de carga (he) entre dos secciones transversales está compuesta de la pérdida por fricción y la pérdida por contracción o expansión. La ecuación para calcular la pérdida total de energía es:

$$h_e = L\overline{S_f} + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right|$$

Donde se tiene que:

L: Longitud del tramo equivalente.
Sf: Pendiente de fricción representativa entre dos secciones.
C: Coeficiente de pérdida por expansión o contracción.

La longitud equivalente, L, se calcula:

$$L = \frac{L_{lob}\overline{Q}_{lob} + L_{ch}\overline{Q}_{ch} + L_{rob}\overline{Q}_{rob}}{\overline{Q}_{lob} + \overline{Q}_{ch} + \overline{Q}_{rob}}$$

Donde:

Llob, Lch, Lrob: Largo del tramo entre secciones para flujo en la planicie ce la izquierda, el canal principal y la planicie derecha, respectivamente.

Qlob, Qch, Qrob: Promedio aritmético de los flujos en las dos secciones en la planicie de la izquierda, el canal principal y la planicie derecha, respectivamente.

La capacidad de transporte se calcula para cada subdivisión usando la siguiente ecuación (En el Sistema métrico de unidades):

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3}$$

Donde se tiene que:

K: Capacidad de transporte de una sección
n: Coeficiente de rugosidad de Manning de una subdivisión
A: Área de flujo de una subdivisión

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

R: Radio hidráulico de una subdivisión

El programa suma todas las capacidades incrementales para obtener la capacidad total de las planicies de la izquierda y la derecha. Normalmente la capacidad del canal principal se calcula como un solo elemento (sin subdivisión). La capacidad total de una sección se obtiene al sumar las tres capacidades de las subdivisiones (izquierda, canal, y derecha).

3.7.4.2. Criterios de Simulación Adoptados

Para definir la geometría de la zona de estudio, se utilizó el levantamiento topográfico realizado en este estudio, ya que este representa fielmente las capacidades actuales del canal Arriba de Catemu. Respecto a la rugosidad del canal Arriba de Catemu, se ha adoptado utilizar los coeficientes de rugosidad utilizados en el estudio de Procivil, indicados anteriormente en el Acápite 3.7.3.1, los cuales corresponden a:

- n = 0,03 Para canal excavado en tierra
- n = 0,04 Para canal excavado en roca

De acuerdo a dicha discretización se han identificado los sectores en donde ha sido excavado en roca el canal Arriba de Catemu en los tramos Km 5,3 - Km 5,7, (sector Túnel 1) y Km 15,8 – Km 15,97 (Túnel 2). El reconocimiento de los tramos en roca fue realizada en terreno. Además se incluye el tramo existente en hormigón desde el Km 1,45 al Km 1,6, al cual se le asigna un coeficiente de rugosidad de n = 0,016 para canales de concreto terminado con lechada. (Ven Te Chow, Pág. 108)

Las condiciones de borde utilizadas para calcular el eje hidráulico se presentan en el Cuadro 3.7.4.2-1, de forma de imponer altura normal para

CUADRO 3.7.4.2-1
CONDICIONES DE BORDE PARA EL CÁLCULO DEL EJE HIDRÁULICO DE CANALES ARRIBA Y DEBAJO DE CATEMU

Canal	Pendiente Promedio (m/m)	
	Aguas Abajo	Aguas Arriba
Arriba de Catemu Tramo 1	0,000960	0,000240
Arriba de Catemu Tramo 2	0,004262	0,003108
Abajo de Catemu	0,001600	0,008000

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.7.5. Resultados

Se realizó la simulación del eje hidráulico de los canales Arriba y Abajo de Catemu para diferentes caudales, las que se presentan en el Anexo 3-21.

En los Cuadros 3.7.5-1 al 3.7.5-3 se indican los puntos que presentan algún tipo de problema para los canales Arriba (tramo 1 y tramo 2) y Abajo de Catemu, para dos escenarios: Máxima capacidad sin revancha y máxima capacidad considerando una revancha de 0,4 m. En el primer escenario se observan los puntos en los cuales el canal se desborda y en el segundo, los puntos en donde el nivel del agua se encuentra a menos de 0,4 m del borde de la ribera.

CUADRO 3.7.5-1
PUNTOS RESTRICTIVOS DE CAPACIDAD
TRAMO 1 - CANAL ARRIBA DE CATEMU

			Diferencia entre borde mínimo y agua (m)	
Q Total (m^3/s)	Km (m)	River Sta	Sin Revancha	Con Revancha de 0,4 m
1	5375	105	0,38	-0,02
	10775	51	0,38	-0,02
1,5	3075	128	0,29	-0,11
	5375	105	0,23	-0,17
	8975	69	0,35	-0,05
	10775	51	0,17	-0,23
	11775	41	0,39	-0,01
	14275	16	0,45	0,05
2	3075	128	0,21	-0,19
	4275	116 (*)	0,69	0,29
	5375	105	0,11	-0,29
	8975	69	0,19	-0,21
	10775	51	-0,01	-0,41
	11475	44	0,27	-0,13
	11775	41	0,24	-0,16
	14275	16	0,28	-0,12
2,5	1575	143	0,31	-0,09
	3075	128	0,13	-0,27
	5375	105	0,00	-0,40
	5675	102	0,38	-0,02
	8975	69	0,04	-0,36
	10775	51	-0,16	-0,56
	11475	44	0,12	-0,28
	11775	41	0,11	-0,29
	13575	23	0,29	-0,11
	14175	17	0,28	-0,12
	14275	16	0,14	-0,26
3	1475	144	0,31	-0,09
	1575	143	0,20	-0,20
	3075	128	0,07	-0,33
	3375	125	0,35	-0,05

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.7.5-1
PUNTOS RESTRICTIVOS DE CAPACIDAD
TRAMO 1 - CANAL ARRIBA DE CATEMU

			Diferencia entre borde mínimo y agua (m)	
Q Total (m^3/s)	Km (m)	River Sta	Sin Revancha	Con Revancha de 0,4 m
3	5275	106	0,31	-0,09
	5375	105	-0,10	-0,50
	5675	102	0,26	-0,14
	6075	98	0,30	-0,10
	6175	97	0,38	-0,02
	8975	69	-0,09	-0,49
	9675	62	0,35	-0,05
	10275	56	0,37	-0,03
	10375	55	0,33	-0,07
	10775	51	-0,29	-0,69
	11475	44	-0,02	-0,42
	11775	41	0,00	-0,40
	12075	38	0,31	-0,09
	13575	23	0,18	-0,22
	14175	17	0,15	-0,25
	14275	16	0,02	-0,38
	15075	8	0,32	-0,08
	15175	7	0,34	-0,06
3,5	1475	144	0,21	-0,19
	1575	143	0,10	-0,30
	2775	131	0,32	-0,08
	2975	129	0,38	-0,02
	3075	128	0,01	-0,39
	3375	125	0,27	-0,13
	4275	116	0,37	-0,03
	4475	114	0,36	-0,04
	4575	113	0,39	-0,01
	4775	111	0,39	-0,01
	5275	106	0,22	-0,18
	5375	105	-0,18	-0,58
	5675	102	0,15	-0,25
	6075	98	0,19	-0,21
	6175	97	0,28	-0,12
	6275	96	0,31	-0,09
	8975	69	-0,21	-0,61
	9675	62	0,24	-0,16
	10075	58	0,32	-0,08
	10275	56	0,26	-0,14
	10375	55	0,22	-0,18
	10775	51	-0,41	-0,81
	11475	44	-0,14	-0,54
	11675	42	0,31	-0,09
	11775	41	-0,09	-0,49
	11975	39	0,35	-0,05
	12075	38	0,22	-0,18
	13575	23	0,07	-0,33

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.7.5-1
PUNTOS RESTRICTIVOS DE CAPACIDAD
TRAMO 1 - CANAL ARRIBA DE CATEMU

Q Total (m^3/s)	Km (m)	River Sta	Diferencia entre borde mínimo y agua (m)	
			Sin Revancha	Con Revancha de 0,4 m
3,5	14075	18	0,37	-0,03
	14175	17	0,04	-0,36
	14275	16	-0,09	-0,49
	14975	9	0,37	-0,03
	15075	8	0,21	-0,19
	15175	7	0,23	-0,17

(*) En el perfil 116 (Km 4,27), hay un estrechamiento por un puente construido con cota inferior de 515,4 msnm, menor a la cota de las riberas, con una altura libre bajo el puente es 1,20 m, siendo que la altura de agua es de 1,26 m para un caudal de 2,0 m3/s, por lo que el eje hidráulico se peraltaría al llegar al puente.

Nota: En este cuadro se van pintando los fondos de color azul a medida el caudal sobrepasa la capacidad de la sección, por lo que para el caudal más alto se muestran todas las secciones donde el canal se desbordaría.

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.7.5-2
PUNTOS RESTRICTIVOS DE CAPACIDAD
TRAMO 2 - CANAL ARRIBA DE CATEMU

Q Total (m^3/s)	Km (m)	River Sta	Diferencia entre borde mínimo y agua (m)	
			Sin Revancha	Con Revancha de 0,4 m
4	16200	29	0,35	-0,05
4,5	16000	33	0,3	-0,1
	16150	30	0,33	-0,07
	16200	29	0,24	-0,16
	17100	11	0,32	-0,08
	17450	4	0,35	-0,05
5	16000	33	0,2	-0,2
	16100	31	0,38	-0,02
	16150	30	0,23	-0,17
	16200	29	0,14	-0,26
	16650	20	0,32	-0,08
	16900	15	0,32	-0,08
	17100	11	0,24	-0,16
	17450	4	0,29	-0,11
5,5	16000	33	0,11	-0,29
	16100	31	0,29	-0,11
	16150	30	0,14	-0,26
	16200	29	0,05	-0,35
	16650	20	0,24	-0,16
	16900	15	0,24	-0,16
	17100	11	0,15	-0,25
	17150	10	0,39	-0,01
	17450	4	0,23	-0,17
6	16000	33	0,01	-0,39
	16100	31	0,2	-0,2
	16150	30	0,05	-0,35

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.7.5-2
PUNTOS RESTRICTIVOS DE CAPACIDAD
TRAMO 2 - CANAL ARRIBA DE CATEMU

Q Total (m^3/s)	Km (m)	River Sta	Diferencia entre borde mínimo y agua (m)	
			Sin Revancha	Con Revancha de 0,4 m
6	16200	29	-0,04	-0,44
	16250	28	0,32	-0,08
	16400	25	0,37	-0,03
	16550	22	0,33	-0,07
	16650	20	0,16	-0,24
	16900	15	0,16	-0,24
	17100	11	0,07	-0,33
	17150	10	0,31	-0,09
	17400	5	0,39	-0,01
	17450	4	0,18	-0,22

Nota: En este cuadro se van pintando los fondos de color azul a medida el caudal sobrepasa la capacidad de la sección, por lo que para el caudal más alto se muestran todas las secciones donde el canal se desbordaría.

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.7.5-3
PUNTOS RESTRICTIVOS DE CAPACIDAD
CANAL ABAJO DE CATEMU

Q Total (m^3/s)	Km (m)	River Sta	Diferencia entre borde mínimo y agua (m)	
			Sin Revancha	Con Revancha de 0,4 m
2	1250	10	0,36	-0,04
	1350	8	0,37	-0,03
	1500	5	0,36	-0,04
2,5	1200	11	0,32	-0,08
	1250	10	0,25	-0,15
	1300	9	0,37	-0,03
	1350	8	0,25	-0,15
	1500	5	0,24	-0,16
3	650	22	0,36	-0,04
	900	17	0,36	-0,04
	1150	12	0,38	-0,02
	1200	11	0,21	-0,19
	1250	10	0,14	-0,26
	1300	9	0,26	-0,14
	1350	8	0,14	-0,26
	1450	6	0,37	-0,03
	1500	5	0,13	-0,27
	1550	4	0,39	-0,01
	1600	3	0,36	-0,04
	1650	2	0,33	-0,07
3,5	650	22	0,26	-0,14
	900	17	0,26	-0,14
	1000	15	0,37	-0,03
	1150	12	0,26	-0,14

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.7.5-3
PUNTOS RESTRICTIVOS DE CAPACIDAD
CANAL ABAJO DE CATEMU

Q Total (m^3/s)	Km (m)	River Sta	Diferencia entre borde mínimo y agua (m)	
			Sin Revancha	Con Revancha de 0,4 m
3,5	1200	11	0,09	-0,31
	1250	10	0,03	-0,37
	1300	9	0,15	-0,25
	1350	8	0,03	-0,37
	1400	7	0,29	-0,11
	1450	6	0,27	-0,13
	1500	5	0,02	-0,38
	1550	4	0,29	-0,11
	1600	3	0,26	-0,14
	1650	2	0,23	-0,17
4	200	31	0,37	-0,03
	450	26	0,32	-0,08
	650	22	0,16	-0,24
	900	17	0,17	-0,23
	1000	15	0,28	-0,12
	1150	12	0,17	-0,23
	1200	11	0	-0,4
	1250	10	-0,07	-0,47
	1300	9	0,05	-0,35
	1350	8	-0,07	-0,47
	1400	7	0,2	-0,2
	1450	6	0,17	-0,23
	1500	5	-0,08	-0,48
	1550	4	0,19	-0,21
	1600	3	0,17	-0,23
	1650	2	0,14	-0,26

Nota: En este cuadro se van pintando los fondos de color azul a medida el caudal sobrepasa la capacidad de la sección, por lo que para el caudal más alto se muestran todas las secciones donde el canal se desbordaría.

Fuente: Elaboración propia

Las planillas con los resultados de las capacidades de los canales se presentan en extenso en el Anexo 3-22.

En el Cuadro 3.7.5-4 se presenta un resumen con los puntos restrictivos de capacidad, sin considerar revancha.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.7.5-4
RESUMEN PUNTOS RESTRICTIVOS DE CAPACIDAD
CANALES ARRIBA Y ABAJO DE CATEMU
SIN CONSIDERAR REVANCHA

Canal	Q (m3/s)	Km (m)	River Sta	Diferencia entre borde minimo y agua (m) (Sin Revancha)
Arriba - Tramo 1	2,0	4275	116	La restricción está en que para este caudal la altura de agua es 1,26 m, y la altura libre bajo el puente es 1,20 m, por lo que el eje hidráulico se peraltaría.
	2,0	10775	51	-0,01
	2,5	5375	105	0,00
	3,0	8975	69	-0,09
	3,0	11475	44	-0,02
	3,0	11775	41	0,00
	3,5	14275	16	-0,09
Arriba - Tramo 2	6,0	16200	29	-0,04
Abajo	4,0	1200	11	0,00
	4,0	1250	10	-0,07
	4,0	1350	8	-0,07
	4,0	1500	5	-0,08

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que para efectos de simulación, debido a que el levantamiento del Tramo 1 del canal Arriba de Catemu se realizó antes de la limpia de los canales, se corrigieron de forma tenue las siguientes secciones con cuellos de botella donde se evidencia embancamiento de material:

- Perfil 51 (km 10,775): Reperfilamiento de este perfil, 1 perfil aguas arriba y 3 aguas abajo (cada uno a 25 m de distancia). Se genera un cambio mínimo en el eje hidráulico, casi despreciable.
- Perfil 16 (km 14,275): Reperfilamiento de este perfil, 1 perfil aguas arriba y 3 aguas abajo (cada uno a 25 m de distancia). No hay cambio en el eje hidráulico.

De acuerdo a los resultados presentados en el Cuadro 3.7.5-4, el máximo caudal que puede pasar por los canales analizados, sin considerar revanchas para los canales, corresponde a:

- ***Canal Arriba de Catemu (Km 0 al 17,6):*** 2,0 m³/s (considerando un nivel alto de embanque, ya que la topografía se realizó durante el fin de la temporada de riego).
- ***Canal Abajo de Catemu (Km 16,0 al 17,6):*** 4,0 m³/s

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria cl

En el Cuadro 3.7.5-5 se presentan los problemas que se generan en el canal Arriba de Catemu (Km 0 al 17,6), para caudales mayores a 2 m³/s y a 2,5 m³/s.

CUADRO 3.7.5-5
PROBLEMAS CANAL ARRIBA DE CATEMU
PARA CAUDALES MAYORES A 2,0 m^3/s Y A 2,5 m^3/s – SITUACIÓN ACTUAL

Km	Perfil	Problemas para Q>2 m^3/s	Problemas para Q>2,5 m^3/s
4,270	116	Se ha construido un puente que peralta el eje hidráulico para un caudal mayor o igual a 2 m3/s.	
5,370	105	-	Desborde por ribera izquierda.
10,775	51	Desborde por ribera izquierda.	Desborde por ribera izquierda.

Nota: Procivil utiliza 2,57 m³/s como el caudal máximo en bocatoma.

Fuente: Elaboración propia

En el caso del canal Abajo de Catemu, para caudales mayores a 4 m3/s se genera un desborde por ribera izquierda en el Km 1,20 (Perfil 11).

En la Figura 3.7.5-1 se incluyen los puntos y tramos restrictivos determinados por la simulación, presentados en el Cuadro 3.7.5-4.

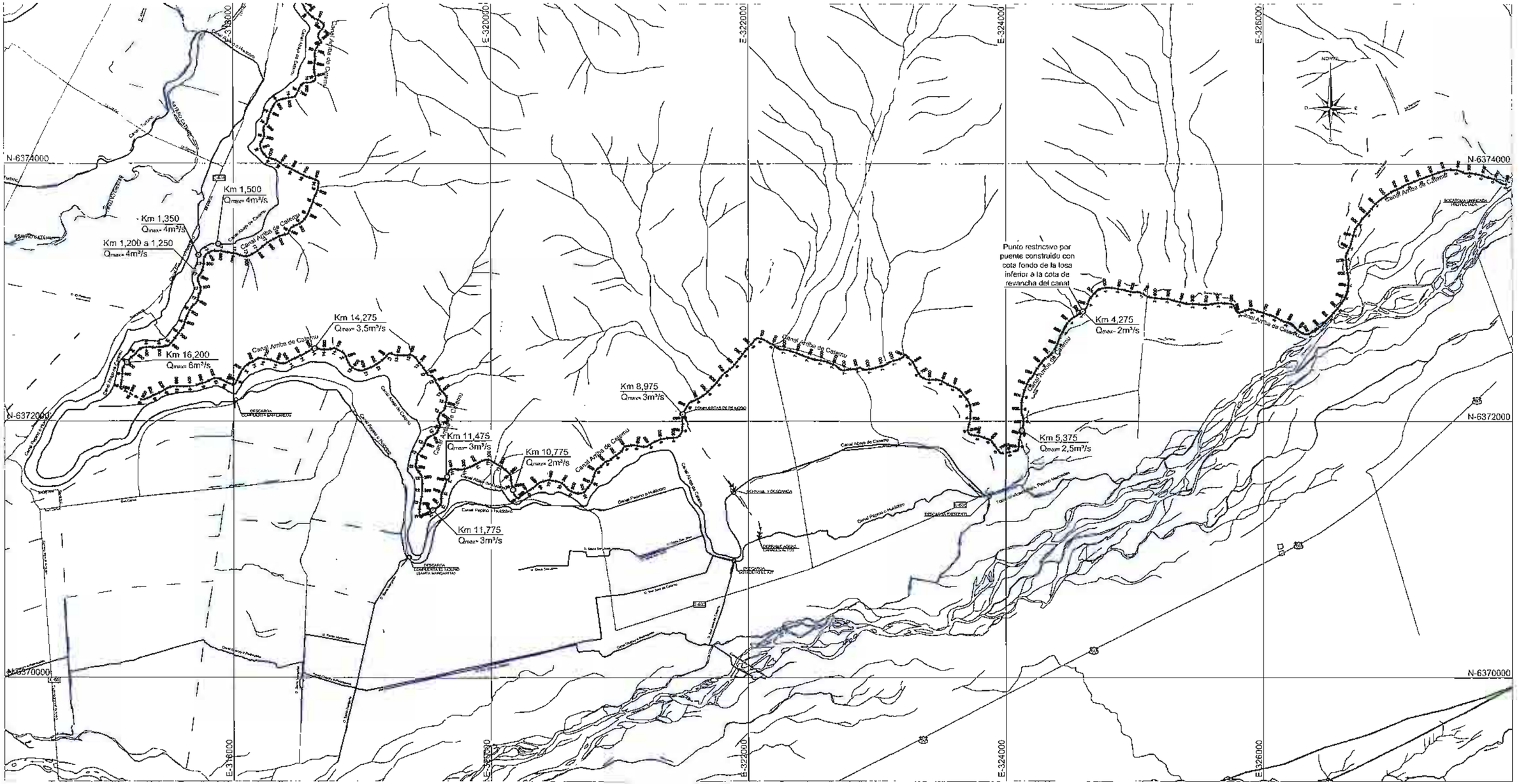
Debido a que el levantamiento topográfico en el Canal Arriba de Catemu se realizó antes de la limpia de los canales, y a los mínimos trabajos que hay que realizar para cue aumente la capacidad a 2,5 m^3/s, se asume una capacidad actual de 2,5 m^3/s, y una capacidad para el canal actual optimizada de 3,0 m^3/s. Para que esto último sea posible se requieren los s trabajos que se presentan en el Cuadro 3.7.5-6.

CUADRO 3.7.5-6
TRABAJOS A REALIZAR PARA QUE LA CAPACIDAD DEL CANAL ARRIBA DE CATEMU AUMENTE A 3,0 m^3/s – SITUACIÓN ACTUAL OPTIMIZADA

Km	Perfil	Trabajos a realizar para aumentar la capacidad a 3 m^3/s
4,270	116	Aumentar la altura del puente
5,375	105	Peraltar borde izquierdo 0,10 m
8,975	69	Peraltar borde izquierdo 0,09 m
10,775	51	Peraltar borde izquierdo 0,29 m
11,475	44	Peraltar borde izquierdo 0,02 m

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl


E-318000
E-320000
E-322000
E-324000
E-326000
N-6374000
N-6372000
N-6370000
Km 1,500
Qmax= 4m³/s
Km 1,350
Qmax= 4m³/s
Km 1,200 a 1,250
Qmax= 4m³/s
Km 14,275
Qmax= 3,5m³/s
Km 16,200
Qmax= 6m³/s
Km 11,475
Qmax= 3m³/s
Km 10,775
Qmax= 2m³/s
Km 11,775
Qmax= 3m³/s
Km 8,975
Qmax= 3m³/s
Km 5,375
Qmax= 2,5m³/s
Km 4,275
Qmax= 2m³/s
Punto restrictivo por puente construido con cota fondo de la losa inferior a la cota de revancha del canal
Canal Arriba de Catemu
Canal Abajo de Catemu
Canal Pepino a Huidobro
DESCARGA COMPUERTA SAN CARLOS
DESCARGA COMPUERTA EL MOLINO SANTA MARGARITA
DESCARGA COMPUERTA EL PINO
DESCARGA COMPUERTA EL PINO
DESCARGA COMPUERTA EL PINO

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

4.1. GENERALIDADES

El objetivo principal de este capítulo es presentar la selección de la mejor alternativa de trazado de obras que se desarrollará en los capítulos posteriores.

Para realizar la selección de la alternativa de trazado de obras se estudian los siguientes puntos:

a) ***Problemática:*** Se estudia la problemática de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Canal Pepino, y posteriormente se presentan las alternativas desarrolladas tanto en los estudios de mejoramiento realizados con anterioridad, como las alternativas propuestas en este estudio.

b) ***Presentación de Alternativas:*** Se analizan las alternativas desarrolladas en los estudios de mejoramiento realizados con anterioridad, principalmente en cuanto al planteamiento de los trazados, obras que componen cada alternativa, caudales de diseño, costos y evaluaciones económicas.

c) ***Estimación Preliminar del Caudal a Transportar:*** Se realiza un análisis preliminar que permite determinar el caudal de diseño de las obras. Se considera por una parte la información de derechos, la información de demandas máximas de riego y la capacidad de porteo de cada canal. A partir de este conjunto de información, se define el caudal de diseño de las diversas alternativas con tres escenarios distintos para cada una.

d) ***Diseños Simplificados e Inversiones Totales:*** Se obtienen los costos de las obras proyectadas para cada una de las alternativas, para distintos caudales de diseño, de forma de obtener la mejor alternativa respecto a los costos y beneficios.

e) ***Estudio de Análisis Ambiental:*** El objetivo del EAA, en esta etapa, fue el de jerarquizar las distintas alternativas estudiadas para poder recomendar aquella más sustentable desde la perspectiva ambiental destacando sus aspectos más relevantes.

f) ***Evaluación Económica:*** Se presenta la evaluación económica de las alternativas analizadas, tanto para precios privados como para precios sociales, la cual tiene como objetivo principal "determinar la alternativa más rentable en términos económicos".

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se deja en claro que "no es por ningún motivo" uno de los objetivos de esta evaluación determinar si las alternativas son económicamente factibles, lo cual permite no evaluar aquellos costos y beneficios que no aportan a la definición de la mejor alternativa.

g) ***Recomendación de la Alternativa a Desarrollar:*** Se recomienda la alternativa a desarrollar a nivel de prefactibilidad. Para esto se consideran los resultados de la evaluación económica y ambiental.

Por lo anteriormente expuesto, se recomienda desarrollar a nivel de prefactibilidad la Alternativa 4, siempre y cuando haya claras posibilidades de una inversión privada dispuesta a construir una central hidroeléctrica. En caso contrario se recomienda continuar con la alternativa 3.

4.2. PROBLEMÁTICA

Las principales problemáticas de los canales en estudio son:

a) ***Inestabilidad de las Laderas de los Cerros:*** Tiene relación con la seguridad de riego para los más de 1.000 agricultores de la zona agrícola de la comuna de Catemu y principalmente de los habitantes de Catemu. Según el proyecto Túnel Salesianos desarrollado para la Ley de Riego (1987) este problema es creciente en el Sector Puntilla de Máquinas (frente a la localidad de Catemu), donde se producen derrumbes que obstruyen los canales interrumpiendo el suministro de agua de regadío con reparaciones cada vez más caras y difíciles.

La inestabilidad de taludes se debe a su intensa meteorización, los surcos y cárcavas producto de las lluvias y la falta de vegetación. El fenómeno es evaluado en el informe geológico como una "descomposición orbicular con deslizamientos del tipo reptación". Con la información del estudio geológico-geotécnico, se puede aseverar que *el riesgo de colapso de los Canales Arriba y Abajo de Catemu en el Sector Puntilla Las Máquinas es altísimo,* con fuertes daños a propiedades públicas y privadas, lo que justifica el desarrollo del proyecto del Túnel Salesianos, quedando fuera de servicio los canales en el sector Puntilla Las Máquinas.

b) ***Embancamiento y Derrames de los Canales:*** Las laderas sobre los cauces de los canales están conformadas por maicillos y suelo de baja cohesión, lo que junto al exceso de humedad provoca la desestabilización de los taludes y laderas. Lo anterior produce el planchoneo o desplome de su ribera izquierda (donde se han revestido solo algunas secciones o muros de tal ribera), generándose así el embancamiento que suele derivar en rebalses de los

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

canales con la consiguiente rotura del borde, poniendo en riesgo la propiedad agrícola y urbana del pueblo de Catemu.

Por otro lado el canal Arriba de Catemu funciona como barrera de protección de aguas lluvias para el canal Abajo de Catemu y Pepino, las que ingresan por las quebradas hacia el canal, ensuciando la sección y aumentando el riesgo de desborde.

c) ***Problemas de Captación:*** El canal Arriba de Catemu posee una bocatoma, sin embargo, se debe hacer una barrera artesanal cada año, utilizando maquinaria pesada, para conducir las aguas hacia la entrada del canal. Los canales Pepino y Abajo de Catemu captan sus aguas en una toma unificada que, al igual que en la captación del canal Arriba de Catemu, utiliza una barrera artesanal para conducir las aguas hacia su entrada.

d) ***Elevadas Pérdidas de Agua por Conducción:*** Debido a la falta de revestimiento, las pérdidas en conducción en los canales matrices son aproximadamente del 50%.

e) ***Capacidad de Conducción:*** Aún cuando los derechos de agua de los regantes y la oferta del río en las secciones de captación deberían permitir el riego holgado de la superficie bajo el canal, esto no acontece en la práctica. De hecho, los regantes deben hacer turnos en la época de mayor demanda, porque el recurso resulta insuficiente. Las razones de esta situación corresponden a:

- *Canal Arriba de Catemu:* limitación de la capacidad de porteo, principalmente en sus primeros 18 km, y pérdidas significativas por infiltración.
- *Canal Abajo de Catemu:* limitaciones legales a la captación y conducción del agua por la manga de aproximación a la captación.

f) ***Seguridad de Riego:*** Las condiciones actuales de la captación y conducción del agua favorecen las altas pérdidas de ésta, factor que limita la disponibilidad de agua de riego en el estío e impiden un mayor desarrollo de los rubros frutícolas.

g) ***Abundante vegetación al interior de los canales y difícil acceso:*** El recorrido por las riberas del canal se hace dificultoso por la frondosidad de las plantas y el material que se ha retirado del canal que a veces alcanza hasta los 3 m de altura.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

h) ***Infraestructura en mal estado:*** Se debe realizar el mantenimiento y reemplazo de gran parte de la infraestructura, ya que alrededor del 40% se encuentra en mal estado.

En términos económicos, la problemática anteriormente planteada está asociada a altos costos en operación, mantención y reparación, y menores beneficios que las que se podrían obtener con un proyecto de mejoramiento de canales, ya sea apuntando su desarrollo en el multiuso de las aguas (beneficio agrícola y por generación eléctrica) o solamente al riego.

4.3. PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS

4.3.1. Generalidades

En este acápite se analizan las alternativas desarrolladas en los estudios de mejoramiento realizados con anterioridad, principalmente en cuanto al planteamiento de los trazados, obras que componen cada alternativa, caudales de diseño, costos y evaluaciones económicas.

4.3.2. Análisis de Alternativas Desarrolladas en Estudios Anteriores

4.3.2.1. Proyecto Túnel Salesianos. Galleguillos Stowhas, Ingenieros Civiles, 1987

Éste proyecto corresponde a ur estudio realizado en 1987 presentado para concursar a fondos de la Ley 18.450. Tuvo como objetivo "*anteproyectar una alternativa que diera solución al problema de derrumbes y consiguientes colapsos y desbordes de canales (e interrupciones en el suministro de riego del valle) en la zona de laderas del sector de Puntilla Las Máquinas*" (frente a Catemu Urbano), esto debido a la inestabilidad creciente de las laderas, fenómeno que se presenta en detalle y que es apoyado por un estudio geológico-geotécnico.

Como análisis de alternativas se descartó una solución geotécnica del problema por impracticable, y el abovedamiento del canal por razones económicas, por falta de seguridad y por trasladar el problema a canales más bajos (Canal Pepino).

La alternativa desarrollada consistió en *unificar bocatomas de los Canales Catemu del Alto y Catemu del Bajo*, para posteriormente conducir las aguas a través de un *túnel acueducto que, atravesando la Puntilla de las Máquinas*, daría una solución definitiva al problema antes descrito en la zona inestable, dejando fuera de servicio los canales Catemu del Alto y Catemu del Bajo en los tramos obviados, dando solución total al problema existente.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La capacidad de porteo del túnel correspondería a la suma de los recursos de los Canales Catemu del Alto y Catemu del Bajo.

El túnel anteproyectado tendría una longitud de 1,15 km excavado en roca granodiorítica, la que se pronosticó con buena calidad geotécnica. Su caudal de diseño fue de 3,68 m³/s (consideró caudales reales de porteo en lugar de los caudales según derechos inscritos), su sección sería rectangular de 2,2 x 1.6 m (ancho x alto) y una bóveda de un radio 1,38 m, lo que da un alto máximo en la clave del túnel de 2,15 m.

La obra se complementa con 2 conexiones cortas en zanja abierta al Canal del Alto existente, un marco partidor y un rápido de restitución de derechos de aguas del Canal del Bajo.

Los beneficios de la construcción del Túnel Salesianos no van solamente por el aumento de la seguridad de riego, el proyecto presenta importantes beneficios adicionales:

- Elimina el riesgo de inundación de Catemu.
- Elimina las fuertes pérdidas por infiltración en el tramo la Puntilla de Máquinas, potenciando el aumento de la superficie de riego y solucionando los problemas de drenaje de la zona denominada como Santa Margarita, cuyas aguas provienen con seguridad de los canales.

El monto estimado de construcción del proyecto fue de UF 11.869,64 con un plazo de ejecución estimada de 14 meses.

4.3.2.2. Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Canales Catemu; Comuna de Catemu, V Región. Procivil, 1996

Este estudio fue encargado por la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas a Procivil Ingeniería Ltda. en el marco de los estudios para el Programa de Obras de Riego Medianas y Menores (PROMM).

El objetivo principal de este estudio consistió en evaluar soluciones de mejoramiento de riego para los canales matrices Alto y Bajo Catemu, incluyendo además una *disminución del riesgo asociado a desbordes de los mismos*, hecho que venía siendo perjudicial tanto para el suelo agrícola como el urbano y las vidas humanas.

Las alternativas desarrolladas se presentan en el Cuadro 4.3.2.2-1.

Las alternativas estudiadas fueron planteadas con la finalidad de "*fijar una alternativa de trazado de los canales del Alto y del Bajo Catemu para evitar su recorrido frente al pueblo de Catemu (Puntilla de Máquinas)*", ya que en este recorrido los dos canales

presentan serios deterioros debido a la calidad geotécnica de la roca expuesta, así como la excesiva pendiente de las laderas.

CUADRO 4.3.2.2-1
ALTERNATIVAS DESARROLLADAS EN ESTUDIO PREFACTIBILIDAD – PROCIVIL 1996

Nº	Descripción Alternativa	Costo (millones $)
1	- Mantener canales sin unificar. - Revestir con losetas de hormigón el canal del Alto en una longitud de 4,3 km y 4,5 km en el canal del Bajo, tramos correspondientes a Puntilla de Máquinas.	Total: 940
2	- Mantener canales sin unificar. - Revestir con cobertizo de acero corrugado el canal del Alto en una longitud de 4,3 km y 4,5 km en el canal del Bajo, tramos correspondientes a Puntilla de Máquinas.	Total: 2.159
3	- Unificar canales del Alto y Bajo Catemu. - Construcción de nuevo Túnel Salesianos, con su entrada en el Km 13,98 hasta salir en el Km 18,27 de su actual trazado. Con lo cual se consigue evitar la pasada por el pueblo y por el sector que suele ser más dañino para la seguridad del canal.	Túnel: 262 Total: 642,5

Nota: Nivel de precios a Dic. 2004

De las 3 alternativas desarrolladas la más económica fue la 3, la cual se desarrolló a nivel de prefactibilidad, donde se incluyen las siguientes obras:

1. Bocatoma unificada (Catemu Alto y Bajo), Qd= 5,1 m³/s.
2. Reposición de 7 puentes de H.A. de acceso a predios, con una longitud variable entre 5 y 7 m.
3. Peralte de refuerzo de borde izquierdo con albañilería de piedra (espesor 20 cm) en Km 5,45 (L=100 m), Km 12,4 (L=200 m) y Km 18,27 (L=100m).
4. Desagüe Sta. Isabel Km 2,2: desde el Canal Alto al Río Aconcagua (Tubo de acero L=30 m, D=700 mm, Q=3,3 m³/s, escurrimiento a presión).
5. Ampliación del túnel existente en el Km 5,545.
6. Obra de devolución al río en el Km 5,690.
7. Marco partidor de agua Sta. Isabel Km 7,430.
8. Desagüe Reinoso Km 8,993 del Canal del Alto a un bajo natural que llega hasta el río (Qd=5,1 m³/s).
9. Descargas tipo del Canal del Bajo; Sector las Margaritas: Km 10,0; 10,2; 10,35; y 11,0.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

10. Compuertas y aforadores tipo en Canal del Alto (86 aforadores y 7 compuertas nuevas).
11. Compuerta frontal del Canal del Alto para desviar el agua a la entrada del túnel proyectado Km 14,09.
12. Nuevo túnel proyectado desde Km 13,98 a Km 18,27 (L=1,13 m; ancho=3 m; altura hastiales=1,6 m; radio de la bóveda=1,6 m; altura de la bóveda sobre el hastial[1]=1,04 m).
13. Obra de descarga al Canal El Pimiento; Km actual 18,28 (Km proy. 15,120)
14. Obra de descarga al Canal Del Bajo; Km actual 19,2 (Km proy. 16,04)
15. Ampliación de capacidad del Canal del Alto para unificación de bocatomas entre canales del Alto y del Bajo para una capacidad en bocatoma de 5,1 m³/s (mes máxima demanda más infiltraciones). Para poder portear las aguas lluvias el canal unificado se diseña para un caudal de 5,6 m³/s, con nuevas descargas en los Km 2,2 y 5,6, además de la actual compuerta de Reinoso en el Km 9.
16. Revestimientos aislados en el Canal del Alto con albañilería de piedras del lecho y/o borde izquierdo, por tramos aislados en el Canal del Alto Ampliado, cuya ubicación definitiva será por terreno, conforme a lo que indique el especialista de mecánica de suelos durante la ejecución de las obras. Se estimó que podría requerirse revestimiento para una longitud total en el rango de 0,5 a 1,5 km, entre el Km 2,2 y Km 14,0, en función del resultado que arroje la remoción del actual sello del canal matriz del Alto (en el presupuesto se incluyó un global por este concepto).

El presupuesto de la alternativa desarrollada se presenta en el Cuadro 4.3.2.2-2.

Además se analizó por separado al proyecto de riego el posible aprovechamiento hidroeléctrico en la descarga del Km 19,2 del Canal Alto, en que se entrega un caudal total de 1,5 m³/s correspondientes a los derechos propios del Canal Bajo.

Para el dimensionamiento de la MCH se considera una potencia firme para un caudal de diseño de 1 m³/s (inferior al caudal de diseño de la descarga del canal del alto, para absorber algunas fluctuaciones en la operación del Canal del Alto), caída neta de 30 m, con lo que se obtiene una potencia firme estimada de 210 kW y se asume una operación de 11 meses. El resultado de la evaluación del costo directo total de la MCH es de $ 120,2 millones.

[1] Cara lateral de una excavación

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.3.2.2-2
PRESUPUESTO ALTERNATIVA SELECCIONADA
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD – PROCIVIL 1996

N°	OBRA	Costo (millones $)
1	Mejoramiento de manga de aproximación y peralte de barrera de canal del Alto	7,9
2	Mejoramiento obra de admisión	7,8
3	Puente cruce canal	18,5
4	Desagüe Santa Isabel - Km 2,2	11,7
5	Ampliación túnel chico - Km 5,5	7,8
6	Descarga salida túnel chico - Km 5,69	50,3
7	Desagüe Reinoso - Km 9,0	46,8
8	Descargas Sector Las Margaritas al Canal Bajo	7,5
9	Compuertas de distribución y aforadores del Canal del Alto	30,1
10	Nuevo Túnel Salesianos - Km 13,98	261,7
11	Descargas al Sector El Pimiento	36,4
12	Descargas al Canal del Bajo - Km 19,2	10,5
13	Ampliación Canal del Alto	99,6
14	Aforadores, refuerzos de borde, marco partidor, compuerta frontal Km 14,09, revestimiento de tramos Canal Alto.	45,9
	Total Costos Directos	**642,5**

4.3.2.3. Estudio de Factibilidad y Diseño Mejoramiento Canales Catemu; V Región. Electrowatt, 2000

Este estudio da continuidad al estudio de prefactibilidad, y las obras que contempla son:

- Diseño de las obras en bocatoma que permitan la unificación de ambos canales
- Diseño de descargas del canal unificado para situaciones de emergencia, como por ejemplo aguas lluvias
- Diseño de la ampliación del túnel 1 existente
- Diseño del nuevo túnel Salesianos
- Diseño de la obra de entrega del Canal Unificado al Canal Abajo de Catemu
- Diseño de entregas menores desde el Canal Unificado al Canal Abajo de Catemu
- Diseño de obras para superar interferencias, como por ejemplo puentes
- Diseño de zonas de revestimiento del canal o muros de protección

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Diseño y/o mejoramiento de compuertas de distribución desde el Canal Matriz

En cuanto a la capacidad de porteo del Canal Unificado, solo se realizan mejoramientos de los sectores del canal que necesitan un mejoramiento de su sección de manera tal, que sea capaz de operar con un caudal captado en bocatoma de 5,5 m^3/s y considerando que no existirán turnos para riego.

El informe se divide en dos partes:

1 La primera de éstas, abarca todos los antecedentes relacionados con los canales Catemu.

2 La segunda parte contiene toda la información correspondiente a las obras subterráneas realizar en este proyecto, que comprenden la construcción del túnel Salesianos y ampliación del túnel Chico existente.

El presupuesto de los proyectos desarrollados se presenta en los Cuadros 4.3.2.2-1 y 4.3.2.2-2.

CUADRO 4.3.2.2-1
PRESUPUESTO CANALES CATEMU
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO– ELECTROWATT 2000

Item	Descripción	Costo ($)
1	Instalación de Faenas	61.974.000
2	Obras en Bocatoma	35.013.450
3	Descarga Santa Isabel	30.078.848
4	Descarga Vega	97.211.188
5	Descarga San José	594.233.732
6	Descarga Reinoso	258.525.141
7	Descarga Las Varillas y Ent. a Canal del Bajo	139.155.257
8	Entrega Santa Margarita	35.239.603
9	Entrega El Pimiento	48.352.605
10	Mejoramiento Canal Catemu	225.005.252
11	Obras de Caída al Canal	13.517.990
12	Cruces de Camino	24.702.164
13	Obras Tipo de Entrega	23.689.015
14	Cierros Perimetrales	7.450.964
	Subtotal Costo Directo	1.594.149.209
15	Gastos Generales, Utilidad e Imprevistos Contratista	797.074.604
	Subtotal Costo Neto	**2.391.223.813**
16	Expropiaciones	17.723.573
	Total General	**2.408.947.386**

Nota: Nivel de Precios Julio de 1998

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.3.2.2-2
PRESUPUESTO TÚNEL SALESIANOS Y AMPLIACIÓN TÚNEL 1
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO– ELECTROWATT 2000

ítem	Descripción	Costo ($)
1	Instalación de faenas	79.331.567
2	Obras en portal de entrada de túnel Salesianos	15.355.240
3	Obras en portal de salida de túnel Salesianos	16.970.023
4	Excavaciones subterráneas en túnel Salesianos	275.342.708
5	Sostenimiento de roca en túnel Salesianos	164.166.447
6	Obras en portal de entrada de túnel chico	5.370.852
7	Obras en portal de salida de túnel chico	5.576.305
8	Excavaciones subterráneas en túnel chico	11.499.620
9	Sostenimiento de roca en túnel chico	14.946.451
	Subtotal Costo Directo	588.559.213
	Gastos generales, utilidad e imprevistos contratista (50%)	294.279.606
	Subtotal Costo Neto	882.838.819
	Expropiaciones	30.831.520
	Total General	913.670.339

Nota: Nivel de Precios Julio de 1998

En el desarrollo de este estudio no se consideró la generación hidroeléctrica.

4.3.2.4. Estudio de Perfil: Proyecto de Unificación de Bocatomas y Multiuso de Aguas de Canales: Arriba de Catemu; Abajo de Catemu y Pepino. V Región. Procivil, 2009

Las alternativas de mejora analizadas fueron:

1 Unificación de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino o Huidobro. Se contempla construir una obra de captación, aumento de capacidad y revestimiento de 14,5 km de canal, y unidades de distribución hacia los demás canales.

2 Mejoramiento integral, de cada uno de los 3 canales en forma independiente

En el análisis de multicriterios con ambas alternativas se concluye y se opta sobre las ventajas que reúne la primera alternativa, estos serían:

- Menores costos
- Mayor eficiencia
- Menores impactos negativos en su entorno
- Las obras que se consideran en la presente iniciativa son:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Nueva estructura de bocatoma unificada en el río, la cual posibilitará la captación de los caudales unificados.
- Desarenador al inicio.
- Aumento de la capacidad del canal Catemu del Alto en una extensión de unos 15 km. Se consideran obras anexas necesarias para cumplir el caudal objetivo, y el recubrimiento para los cruces de quebradas.
- Aumento de la capacidad del Túnel #1.
- Construcción de un nuevo túnel en el pueblo de Catemu de longitud 1.100 m para evitar pérdidas por infiltración y con capacidad para el caudal de los canales de Arriba y de Abajo.
- Entregas presurizadas a riego en 2 puntos de la red.
- Los beneficios esperados serían los siguientes:
- Permitiría recuperar parte de las pérdidas de agua, especialmente las que se producen en el período de máximas demandas evapotranspirativas.
- El proyecto en conjunto beneficiaría directamente a 5.680 ha
- 1.047 agricultores se benefician con este proyecto
- VAN Privado $ 3.513 millones
- VAN Social $ 6.212 millones

4.3.2.5. Perfil de Proyecto para Generación Hidroeléctrica: Descarga desde Canal Arriba de Catemu a Canal Debajo de Catemu y a Canal Pepino o Huidobro. Procivil, 2009

En este estudio se evaluó a nivel de perfil la rentabilidad de una eventual generación hidroeléctrica en una central de pasada de funcionamiento continuo y permanente todo el año. Dicho objetivo fue planteado de la siguiente forma:

- Se requiere de la unificación de las bocatomas de los canales Catemu del Alto, Catemu del Bajo y Pepino o Huidobro con el correspondiente aumento de capacidad del canal del Alto.
- El punto propuesto a nivel de perfil para la generación corresponde al punto de restitución en el canal Pepino o Huidobro ubicado justo antes del actual túnel que atraviesa la llamada "Puntilla las Máquina", en el Km 15 aproximadamente del canal del Alto. El desnivel en este punto sería de 42 m.

  En el período de invierno, cuando el riego no es necesario, se considera los derechos hídricos de los 3 canales para generar.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Durante el período de verano, es decir en la época en que el riego es prioritario, los caudales de generación serían exclusivamente los del canal Pepino.

- Considerando un caudal de generación máximo de 12 m³/s, y un desnivel bruto de 42 m, se determinó un potencial máximo de generación de 4,1 MW. Además se analizó la rentabilidad del proyecto para 6 diámetros posibles (desde 710 mm hasta 1.400 mm) de tuberías comerciales con capacidad de porteo en el rango del caudal disponible para generación, y para desnivel bruto de generación identificado. El Cuadro 4.3.2.5-1 muestra los resultados de los beneficios del proyecto para cada diámetro de tubería considerado, incluyendo los indicadores TIR, VAN y montos de inversión inicial.

CUADRO 4.3.2.5-1
FLUJO ECONÓMICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA
ESTUDIO PERFIL PROCIVIL 2009

Parámetros	Unidad	Tubería N°1	Tubería N°2	Tubería N°3	Tubería N°4	Tubería N°5	Tubería N°6
Diámetro interior de la tubería forzada	mm	710	800	900	1.000	1.200	1.400
Diámetro comercial de la tubería forzada	mm	800	900	1.000	1.200	1.400	1.600
Potencia óptima "Po" instalada en la central	MW	0,86	1,13	1,47	1,85	2,03	2,09
Caudal de diseño de la central "Qd"	m³/s	3,2	4	5,1	6,3	9	12,3
VAN	Millones de Pesos	1.818	2.309	2.781	3.238	3.356	3.277
TIR	%	15,6	16,1	16,3	16,3	16,0	15,6
Inversión inicial "Io"	Millones de Pesos	2.098	2.426	2.844	3.309	3.620	3.837
IVAN (VAN/Io)	-	0,87	0,95	0,98	0,98	0,93	0,85
Inversión por unidad de potencia (Io/P)	Mill. Pesos/MW	2.440	2.147	1.935	1.789	1.783	1.836

Notas: El análisis considera 6 diámetros de alternativas de tuberías HDPE, tipo PECC 60

4.3.2.6. Análisis de Alternativas Propuestas en Estudios Anteriores

Al comparar los estudios de mejoramiento que se han realizado con anterioridad se puede concluir lo siguiente:

a) ***Solución a Problemática:*** El planteamiento y desarrollo de alternativas debe ir orientado a solucionar la problemática de los canales descrita anteriormente en el Acápite 4.2 y a potenciar su rentabilidad.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

b) ***Canales en Proyecto:*** A diferencia del estudio en desarrollo, los estudios de mejoramiento desarrollados con anterioridad apuntan a dar solución solo a los canales del Alto y del Bajo de Catemu, sin incluir al Canal El Pepino o Huidobro.

c) ***Caudales de Diseño:*** Como se puede apreciar no hay un consenso entre los caudales de diseño para las distintas alternativas desarrolladas, por lo que en este estudio se debe realizar una selección de los caudales de diseño de las obras.

d) ***Túnel Salesianos e Inestabilidad de Taludes en Sector La Máquina:*** De los estudios realizados se puede apreciar una clara ventaja en la construcción del Túnel Salesianos, siendo técnica y económicamente la mejor alternativa para los Canales del Alto y del Bajo de Catemu en cuanto a mitigar el problema de inestabilidad de taludes en el Sector Puntilla de Máquinas, descartando una solución geotécnica del problema por impracticable, y el abovedamiento del canal por razones económicas, por falta de seguridad y por trasladar el problema a canales más bajos (Canal Pepino).

Se aprecia una ventaja en términos económicos para la construcción del Túnel Salesianos, dejando fuera de servicio los canales en el sector Puntilla Las Máquinas, y se concluye que para que las alternativas que incluyan su construcción sean relativamente comparables con alternativas de conducción cerrada en el Sector Puntilla Las Máquinas (entubación o abovedamiento) se debe incluir la conducción cerrada del Canal Pepino, ya sea de forma unificada o independiente, con lo que se evita trasladar el problema al Canal Pepino.

Hay que dejar en claro que por ningún motivo las alternativas de conducción cerrada alcanzarían el valor técnico de la construcción del Túnel Salesianos en cuanto a mitigar el problema de inestabilidad de taludes en el Sector Puntilla Las Máquinas, lo cual hace que se incremente su ponderación al considerar el riesgo de catástrofe sobre el pueblo de Catemu al transitar las aguas por el Sector Puntilla Las Máquinas.

Otras mejoras que ofrece el túnel Salesianos es eliminar las fuertes pérdidas por infiltración en el tramo la Puntilla Las Máquinas, potenciando el aumento de la superficie de riego y solucionando los problemas de drenaje de la zona denominada como Santa Margarita, cuyas aguas provienen con seguridad de los canales.

e) ***Relación entre Generación Hidroeléctrica e inestabilidad del Sector Puntilla de Las Máquinas:*** Se debe analizar la influencia de la inestabilidad de taludes en la generación hidroeléctrica, ya que con el hecho de considerar la generación hidroeléctrica antes del Túnel Salesianos, puede tender a

adoptar generar con el caudal correspondiente al Canal del Bajo y del Pepino, lo que obligaría a realizar una conducción cerrada de ambos canales en el tramo de Puntilla de Las Máquinas, lo que se asocia a posibles problemas de inestabilidad debido a la socavación de los taludes.

4.3.3. Alternativas a Desarrollar

4.3.3.1. Generalidades

De acuerdo con los antecedentes revisados, alternativas desarrolladas en estudios anteriores, evaluación preliminar de la capacidad actual del canal Arriba de Catemu e inspecciones de terreno, se han definido 5 alternativas, las cuales se describen en los Acápites 4.3.3.2 a 4.3.3.4.

En resumen, estas alternativas buscan:

- Disminuir el riesgo de deslizamientos y desbordes en el sector de Puntilla Las Máquinas que pueda provocar daños a terceros en la localidad de Catemu.
- Mejoramiento del control de las aguas lluvias provenientes de las quebradas existentes que interceptan con el trazado del canal Arriba de Catemu.
- Mejoramiento en la conducción de las aguas
- Aprovechamiento de caídas de agua para la generación hidroeléctrica.

4.3.3.2. Alternativas

a) ***Alternativa 1***

Considera la conducción de las aguas de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, por medio de un canal revestido proyectado, identificado como Canal Unificado. Esta nueva conducción se proyecta sobre el trazado del canal Arriba de Catemu, desde el actual punto de toma Km 0,00 hasta el Km 5,95 (300 m aguas abajo del Túnel 1), lo que incluye la ampliación del Túnel 1.

En el fin de su trazado, el Canal Unificado, divide sus aguas en dos: una parte continúa por el canal Arriba de Catemu, para satisfacer la demanda de riego requerido por los regantes de dicho canal, y el resto, será descargado hasta la actual bocatoma unificada de los canales Abajo de Catemu y Pepino, a través de una tubería en presión, o un rápido de descarga, en caso de que se aproveche, o no, la caída de agua para la hidrogeneración.

Luego de captar la demanda de riego por los canales Abajo de Catemu y Pepino, el excedente de agua será finalmente devuelto al río Aconcagua utilizando la restitución existente en el punto de entrega del Canal Unificado indicada en el párrafo anterior. Además

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

se contempla el revestimiento del canal Arriba de Catemu desde el Km 5,95 hasta el Km 13,7, donde se trasvasan las aguas a través del túnel proyectado identificado como Túnel Salesiano, hasta el Km 18,20. Por último, se incluye el abovedamiento de los canales Abajo de Catemu y Pepino en el sector de la Puntilla Las Máquinas y las descargas de aguas lluvias en los Km 1,8, Km 5,45 y Km 15,72.

b) ***Alternativa 2***

Considera la conducción de las aguas de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, por medio de un canal revestido proyectado, identificado como Canal Unificado. Esta nueva conducción se proyecta sobre el trazado del canal Arriba de Catemu, desde el actual punto de toma Km 0,00 hasta el Km 5,95 (300 m aguas abajo del Túnel 1), lo que incluye la ampliación del Túnel 1.

En el fin de su trazado, el Canal Unificado, divide sus aguas en dos: una parte continúa por el canal Arriba de Catemu, para satisfacer la demanda de riego requerida por los regantes de dicho canal, y el resto, será descargado hasta la actual bocatoma unificada de los canales Abajo de Catemu y Pepino, a través de una tubería en presión, o un rápido de descarga, en caso de que se aproveche, o no, la caída de agua para la hidrogeneración.

Luego de captar la demanda de riego por los canales Abajo de Catemu y Pepino, el excedente de aguas de riego será finalmente devuelto al río Aconcagua utilizando la restitución existente en el punto de entrega del Canal Unificado indicada en el párrafo anterior. Además se contempla en el canal Arriba de Catemu: el revestimiento desde el Km 5,95 hasta el Km 13,7, el abovedamiento en el sector de Puntilla Las Máquinas entre los tramos Km 13,7 a Km 15,8 y Km 16,0 a Km 17,5 y la ampliación del Túnel 2. Por último, se incluye el abovedamiento de los canales Abajo de Catemu y Pepino en el sector de la puntilla Las Máquinas y las descargas de aguas lluvias en los Km 1,8, Km 5,45 y Km 15,72.

c) ***Alternativa 3***

Considera la conducción de las aguas de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, por medio de un canal revestido proyectado, identificado como Canal Unificado. Esta nueva conducción se proyecta sobre el trazado del canal Arriba de Catemu en dos tramos, desde el actual punto de toma Km 0,00 hasta el Km 13,7 donde se proyecta el inicio del Túnel Salesiano (incluye la ampliación del Túnel 1), y desde la salida del Túnel Salesiano (Km 18,2) hasta su fin en el Km 19,1. Además incluye la proyección del Túnel Salesiano y las obras de entrega en el Km 13,7 para el canal Abajo de Catemu y en el Km 5,95 hacia el canal Pepino.

En el fin de su trazado, el canal Unificado, divide sus aguas en tres: una parte continúa por el canal Arriba de Catemu y una segunda parte se entrega al canal Abajo de Catemu, ambas para satisfacer la demanda de riego requerido por los regantes de dichos

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

canales. El resto, será descargado hasta el canal Pepino a través de una tubería en presión, o un rápido de descarga, en caso de que se aproveche, o no, la caída de agua para la hidrogeneración. Luego de captar la demanda de riego por el canal Pepino, el excedente de aguas de riego será finalmente trasvasado al estero Catemu a través de una restitución proyectada. Por último, se incluyen las descargas de aguas en los Km 1,8, Km 5,45 y Km 15,72.

d) ***Alternativa 4***

Considera la conducción de las aguas de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, por medio de un canal revestido proyectado, identificado como Canal Unificado. Esta nueva conducción se proyecta sobre el trazado del canal Arriba de Catemu, desde el actual punto de toma Km 0,00 hasta el Km 16,05 (70 m aguas abajo del Túnel 2), lo que incluye la ampliación de los Túnel 1 y Túnel 2 y un tramo abovedado desde el Km 13,7 hasta el inicio del Túnel 2 ubicada en el Km 15,8. Además, incluye la obra de entrega en el Km 5,95 hacia el canal Pepino.

En el fin de su trazado, el canal Unificado, divide sus aguas en tres: una parte continúa por el canal Arriba de Catemu y una segunda parte se entrega al canal Abajo de Catemu, ambas para satisfacer la demanda de riego requerido por los regantes de dichos canales. El resto, será descargado hasta el canal Pepino a través de una tubería en presión, o un rápido de descarga, en caso de que se aproveche, o no, la caída de agua para la hidrogeneración. Luego de captar la demanda de riego por el canal Pepino, el excedente de aguas de riego será finalmente trasvasado al estero Catemu a través de una restitución proyectada. Por último, se incluye el abovedamiento del canal Arriba y Abajo de Catemu desde la entrega del Canal Unificado hacia aguas abajo en el sector de puntilla Las Máquinas y las descargas de aguas lluvias en los Km 1,8 y Km 5,45.

e) ***Alternativa 5***

Considera la conducción de las aguas de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, por medio de un canal revestido proyectado, identificado como Canal Unificado. Esta nueva conducción se proyecta sobre el trazado del canal Arriba de Catemu, desde el actual punto de toma Km 0,00 hasta el Km 15,75 (80 m aguas arriba del Túnel 2), lo que incluye la ampliación del Túnel 1 y además, un tramo abovedado desde el Km 13,7 hasta el punto de entrega del Canal Unificado. Acemás, incluye la obra de entrega en el Km 5,95 hacia el canal Pepino.

En el fin de su trazado, el canal Unificado, divide sus aguas en tres: una parte continúa por el canal Arriba de Catemu y una segunda parte se entrega al canal Abajo de Catemu, ambas para satisfacer la demanda de riego requerido por los regantes de dichos canales. El resto, será descargado hasta el canal Pepino a través de una tubería en presión, o un rápido de descarga, en caso de que se aproveche, o no, la caída de agua para la

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

hidrogeneración. Luego de captar la demanda de riego por el canal Pepino, el excedente de aguas de riego será finalmente devuelto al rio Aconcagua a través de una restitución proyectada. Por último, se incluye el abovedamiento de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino desde la entrega del Canal Unificado hacia aguas abajo en el sector de puntilla Las Máquinas, la ampliación del Túnel 2 y las descargas de aguas lluvias en los Km 1,8 y Km 5,45.

4.3.3.3. Resumen de Obras por Alternativas

En el Cuadro 4.3.3.3-1 se resumen las obras contempladas por cada alternativa, separándolas en Obras de Toma y Limpieza, Obras de trazado en Canal Arriba de Catemu, Ampliación y proyección de Túneles, Entrega final Canal Unificado, Obras de Restitución, Obras de Descarga, Obras de Entrega de Riego y Abovedamiento en Puntilla Las Máquinas.

Los trazados se presentan en forma esquemática desde la Figuras 4.3.3.3-1 hasta la Figura 4.3.3.3-5 y con mayores detalles en el Acápite 4.4.4.

CUADRO 4.3.3.3-6
RESUMEN DE OBRAS PROYECTADAS

Resumen de Obras Proyectadas	Alternativa				
	1	2	3	4	5
Obras de Toma y Limpieza					
Canal de Acceso	X	X	X	X	X
Bocatoma Unificada	X	X	X	X	X
Desarenador	X	X	X	X	X
Obras de Trazado en Canal Arriba de Catemu					
Canal Unificado	X	X	X	X	X
Canal Arriba de Catemu	X	X	-	X	X
Ampliación y Proyección de Túneles					
Ampliación Túnel 1 Km 5,50	X	X	X	X	X
Ampliación Túnel 2 Km 15,80	-	X	-	X	X
Túnel Salesiano Km 13,70	X	-	X	-	-
Entrega Final Canal Unificado.					
Km 5,95 con o sin MCH	X	X	-	-	-
Km 15,72 con o sin MCH hasta canal Pepino	-	-	-	-	X
Km 16,05 con o sin MCH hasta canal Pepino	-	-	-	X	-
Km 17,70 con o sin MCH hasta canal Pepino	-	-	X	-	-
Obra de Restitución					
Canal hacia río Aconcagua Km 5,95	X	X	-	-	-
Canal hacia río Aconcagua Km 15,72	-	-	-	-	X
Canal hacia a estero Catemu Km 16,05	-	-	-	X	-
Canal hacia a estero Catemu Km 17,7	-	-	X	-	-
Obra de Descarga					
Descarga 1 de Santa Isabel hacia Río Aconcagua Km 1,80	X	X	X	X	X

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

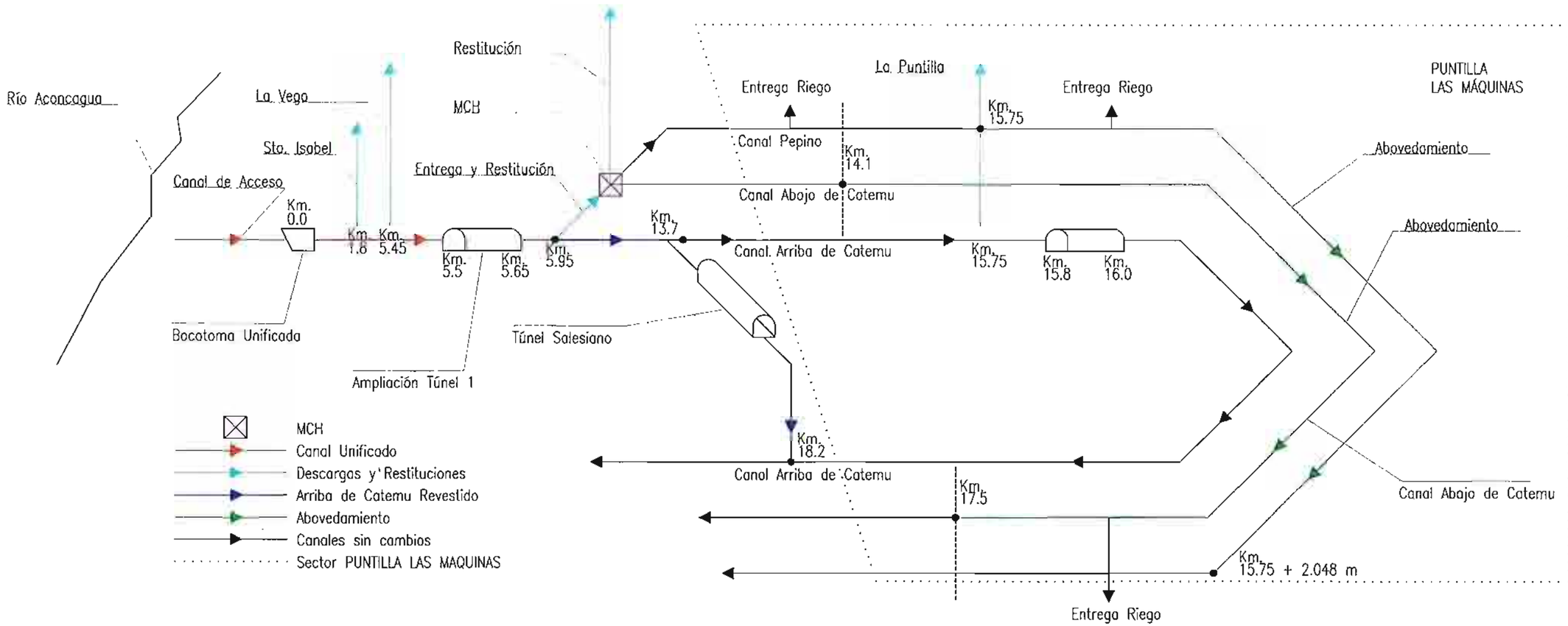
CUADRO 4.3.3.3-6
RESUMEN DE OBRAS PROYECTADAS

Resumen de Obras Proyectadas	Alternativa				
	1	2	3	4	5
Descarga 2 Las Vegas hacia Río Aconcagua Km 5,45	X	X	X	X	X
Descarga 3 Puntilla hacia río Aconcagua Km 15,72	X	X	X	-	-
Cruce de Quebradas	X	X	X	X	X
Obra de Entrega de Caudal de Riego para Regantes ubicados antes del fin del canal unificado					
Obra Entrega de caudales de riego canal Abajo de Catemu Km 13,7	-	-	X	-	-
Obra Entrega de caudales de riego Km 5,95	X	X	X	X	X
Abovedamiento o Entubamiento Puntilla Las Máquinas					
Canal Arriba de Catemu Km 13,70 - 15,72	-	X	-	X	X
Canal Arriba de Catemu Km 15,72 - 16,05	-	X	-	X	X
Canal Arriba de Catemu Km 16,05 - 17,70	-	X	-	X	X
Canal Abajo de Catemu Km 14,10 - 15,72	X	X	-	-	-
Canal Abajo de Catemu Km 15,72 - 16,05	X	X	-	-	X
Canal Abajo de Catemu Km 16,72 - 17,70	X	X	-	X	X
Canal Pepino Km 15,72 + 2.048 m por Pepino, P. Las Máquinas	X	X	-	-	X

Fuente: Elaboración propia

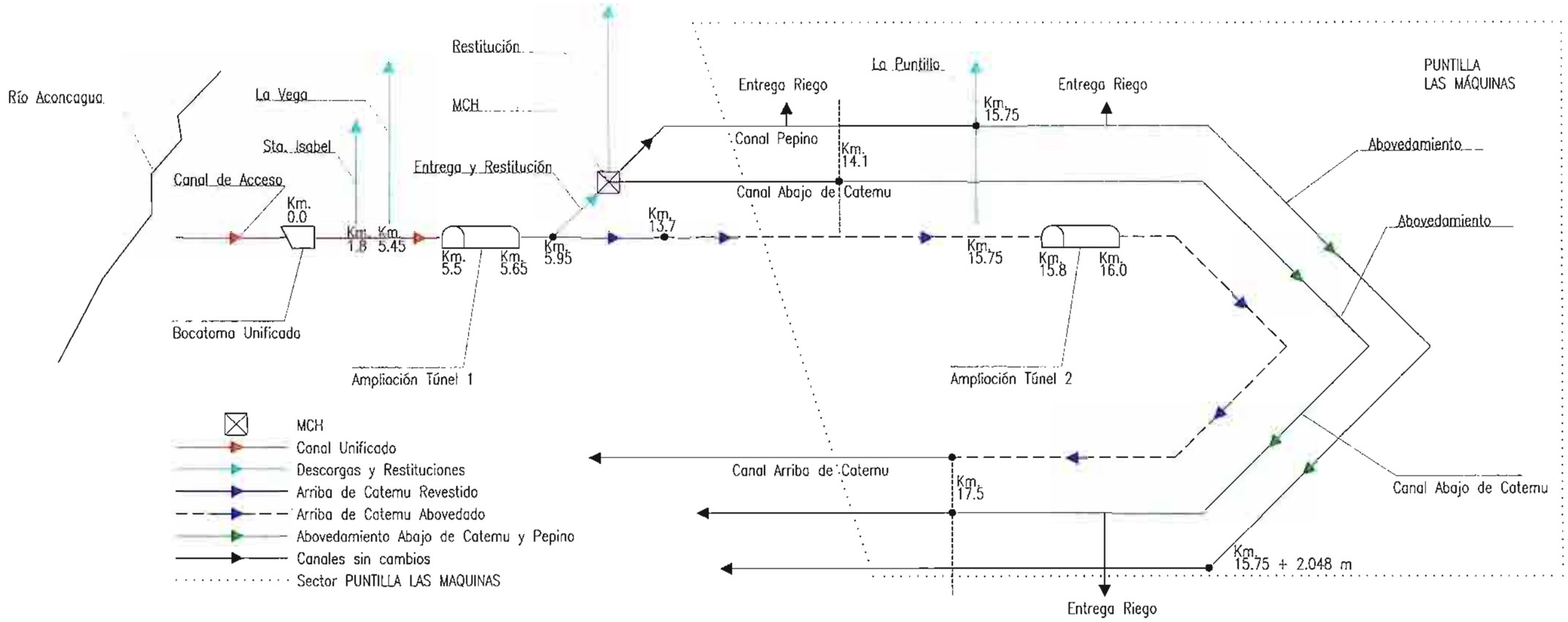
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

ALTERNATIVA 1



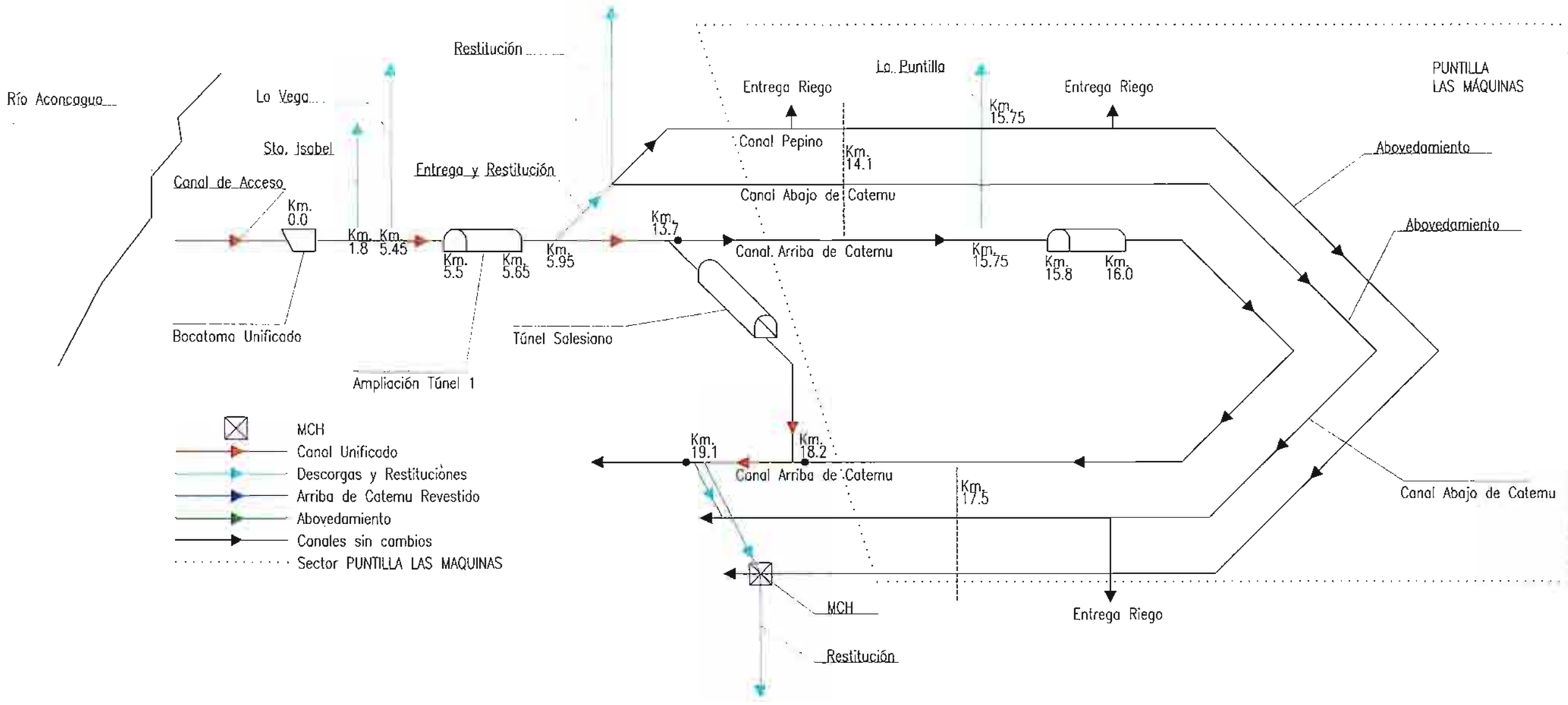
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO	PROYECTO ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA FECHA Julio 2012	FIGURA N° 4.3.3.3-1 ALTERNATIVA 1

ALTERNATIVA 2



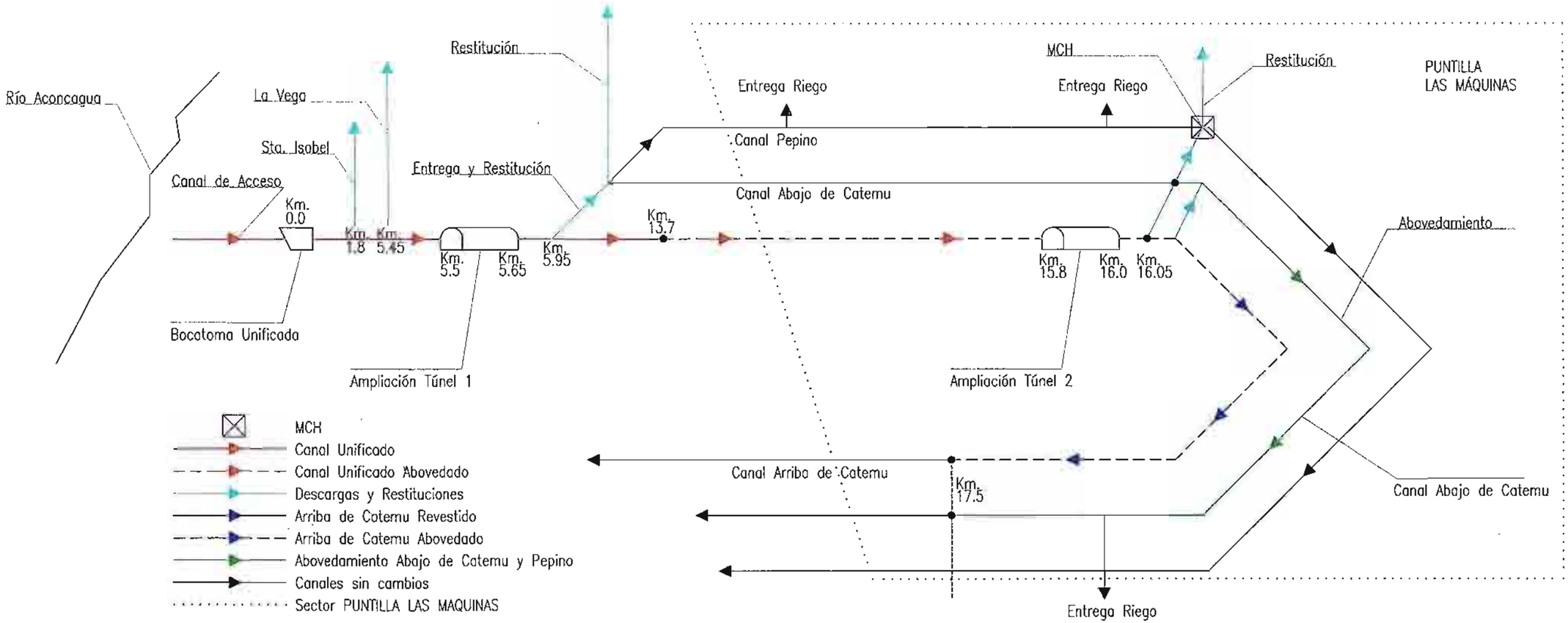
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO	PROYECTO ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA FECHA Julio 2012	FIGURA N° 4.3.3.3-2 ALTERNATIVA 2

ALTERNATIVA 3



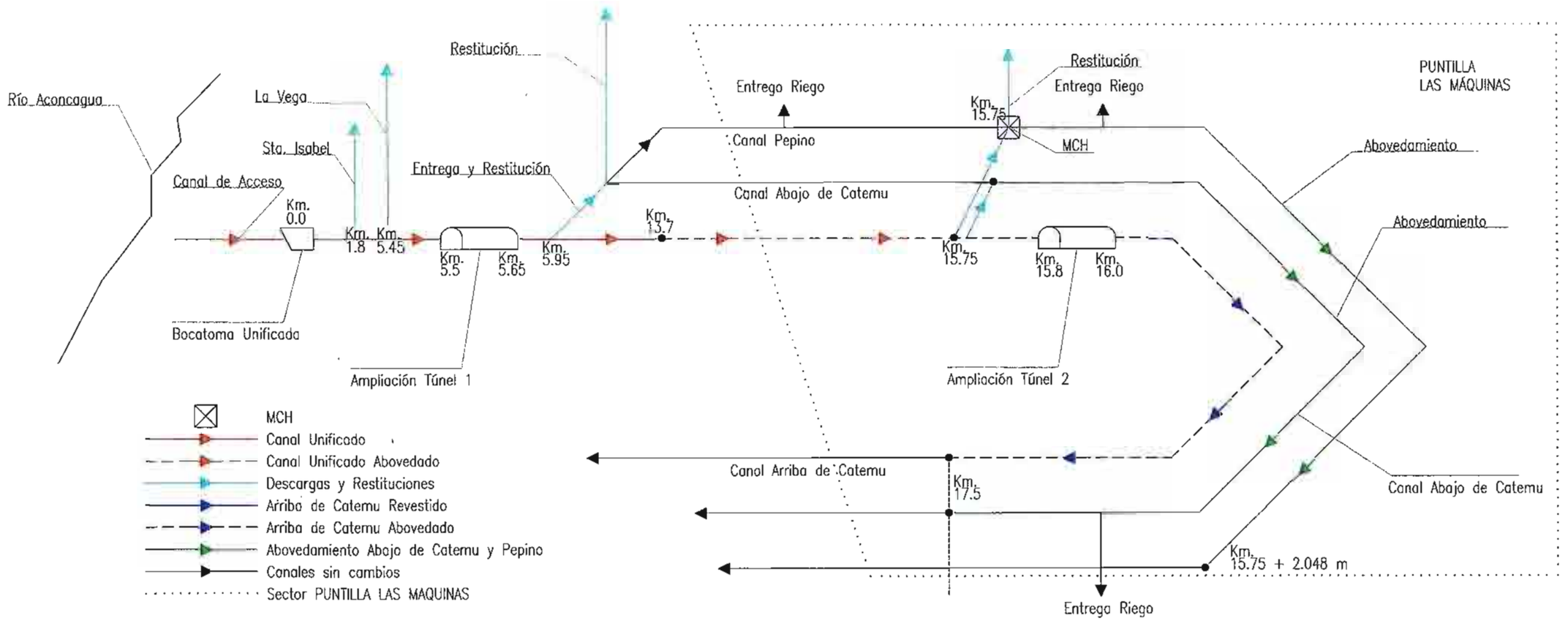
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO	PROYECTO ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA FECHA Julio 2012	FIGURA N° 4.3.3.3-3 ALTERNATIVA 3

ALTERNATIVA 4



COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO	PROYECTO ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA FECHA Julio 2012	FIGURA Nº 4.3.3.3–4 ALTERNATIVA 4

ALTERNATIVA 5



COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO	PROYECTO ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA	FIGURA N° 4.3.3.3-5
	FECHA Julio 2012	ALTERNATIVA 5

4.3.3.4. Hidrogeneración

Desde la Alternativa 1 a la Alternativa 5 se evaluó la posibilidad de incluir una MCH al final del Canal Unificado. La altura bruta disponible, se determinó utilizando un GPS Etrex Vista Garmin con altímetro incorporado. En el Cuadro 4.3.3.4-1 se incluyen las características principales de dichas MCH.

Las Alternativas 3, 4 y 5 poseen dos caídas de agua, sin embargo, sólo se consideró la caída de agua entre el actual canal Arriba de Catemu y el canal Pepino, porque posee una mayor diferencia de cota y además, es posible utilizar gran parte del caudal disponible.

CUADRO 4.3.3.4-1
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN

Alternativa	Altura bruta (m)	Descripción
1	26,0	Caída desde canal Arriba de Catemu hasta falda puntilla las Vegas, descargas a canal Abajo y Pepino, descarga de excedentes a río Aconcagua
2	26,0	Caída desde canal Arriba de Catemu hasta falda puntilla las Vegas, descargas a canal Abajo y Pepino, descarga de excedentes a río Aconcagua
3	66,5	Caída desde canal Arriba de Catemu hasta canal Pepino descarga de excedentes a estero Catemu
4	66,2	Caída desde canal Arriba de Catemu hasta canal Pepino descarga de excedentes a estero Catemu
5	63,5	Caída desde canal Arriba de Catemu hasta canal Pepino descarga de excedentes a río Aconcagua

Nota: La determinación de los caudales de diseño se presenta posteriormente en el Acápite 4.4.3.
Fuente: Elaboración propia

4.4. ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL CAUDAL A TRANSPORTAR

4.4.1. Generalidades

El objetivo del Acápite 4.4 es presentar un análisis preliminar que permita determinar el caudal de diseño de las obras. Se considera por una parte la información de derechos, la información de demandas máximas de riego y la capacidad de porteo de cada canal. A partir de este conjunto de información, se define el caudal de diseño de las diversas alternativas con tres escenarios distintos para cada una.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

4.4.2. Derechos Disponibles por Canal

De acuerdo con la información recopilada, existen caudales correspondientes a los derechos inscritos para los canales Arriba y Abajo de Catemu, pero no para el Pepino (sus acciones no poseen equivalencia). Sin embargo, para este último caso existe información disponible sobre capacidades de porteo y mediciones de distintas fuentes de información. El Cuadro 4.4.4.2-1 resume la información antes mencionada, destacando el caudal adoptado en cada canal, para efectos de la presente etapa (Análisis de Alternativas).

CUADRO 4.4.4.2-1
CAUDAL SEGÚN DERECHOS Y VALORES ADOPTADOS (L/S)

Canal	Inscripción CBR Fojas 55v Nº 82 1915		Informe Canales de Riego y Aforos (Undurraga, 1998)		Informe Técnico DGA (2004)		Caudal de Derechos adoptado para análisis de Alternativas
	Q por Derechos	Acciones	Caudal Aforado	Capacidad Máxima	Q Máx. Extraído (1973-1983)	Capacidad Máxima	
Arriba de Catemu	7,8	260	2,50	3,00	3,70	4,00	7,80
Abajo de Catemu	6,0	200	1,25	1,60	2,00	2,50	6,00
Pepino o Huidobro	(sin equivalencia)	476,629	1,85	2,30	1,65	3,00	3,00

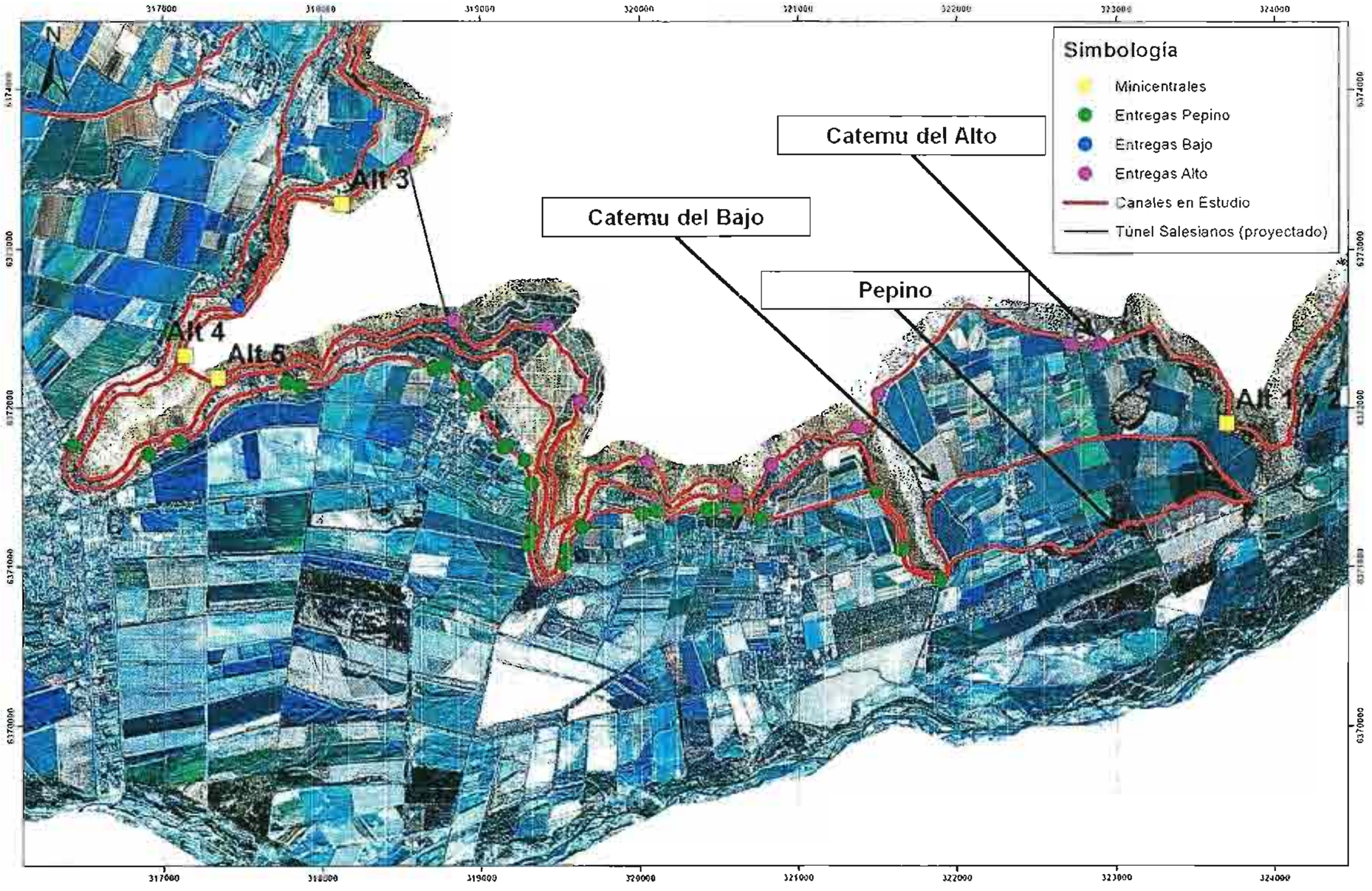
Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Caudales por Alternativa

Para estimar el caudal disponible para la generación hidroeléctrica, se calcularon de forma aproximada los caudales de riego que se entregan antes y después de las minicentrales en cada una de las alternativas. Para esto, se identificaron las áreas regadas de los tres canales, las entregas ubicadas antes de cada minicentral y sus predios asociados con sus respectivas superficies de riego, usando las cartografías digitales. La ubicación de las entregas fue obtenida a partir del Catastro de Obras realizado en la presente consultoría. La Figura 4.4.3-1 muestra la ubicación general de las minicentrales por Alternativa y las entregas ubicadas en el tramo estudiado.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.4.3.3-1
UBICACIÓN DE MINICENTRALES SEGÚN ALTERNATIVAS



Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Utilizando la estructura productiva entregada por Procivil (2009), se calculó una tasa de riego ponderada de referencia para cada mes, que fue usada únicamente para efecto del presente Análisis de Alternativas. En el Cuadro 4.4.3-1 se presentan las tasas de riego ponderada utilizadas, obtenidas a partir del estudio de Procivil 2009.

CUADRO 4.4.3-1
TASAS DE RIEGO PONDERADA

	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Tasa de Riego ponderada (l/s/ha)	0,071	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,241	0,717	1,102	0,957	0,678	0,373
Tasa de Riego x Perdida x FCMax (l/s/ha)	0,118	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,397	1,183	1,819	1,579	1,119	0,615

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 4.4.3-2 se presentan de forma preliminar las superficies regadas y demandas de riego de los tres canales, separándolas según sean sus caudales turbinables o no turbinables.

CUADRO 4.4.3-2
SUPERFICIES Y DEMANDAS DE RIEGO

			Demandas de Riego (m^3/s)											
Alternativa	Tipo Caudal	Superficie riego (ha)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1 y 2	No Turbineable Alto	1.549	0,182	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031	0,615	1,832	2,817	2,446	1,732	0,953
	No Turbineable Bajo	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	No Turbineable Pepino	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Turbineable Alto	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Turbineable Bajo	1.113	0,131	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,442	1,316	2,024	1,757	1,245	0,685
	Turbineable Pepino	1.356	0,160	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,539	1,604	2,465	2,141	1,516	0,834
	Total	4.017												
3	No Turbineable Alto	1.549	0,182	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031	0,615	1,832	2,817	2,446	1,732	0,953
	No Turbineable Bajo	1.113	0,131	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,442	1,316	2,024	1,757	1,245	0,685
	No Turbineable Pepino	785	0,092	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,312	0,929	1,428	1,240	0,878	0,483
	Turbineable Alto	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Turbineable Bajo	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Turbineable Pepino	570	0,067	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,227	0,675	1,037	0,900	0,638	0,351
	Total	4.017												
4	No Turbineable Alto	1.549	0,182	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031	0,615	1,832	2,817	2,446	1,732	0,953
	No Turbineable Bajo	1.113	0,131	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,442	1,316	2,024	1,757	1,245	0,685
	No Turbineable Pepino	785	0,092	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,312	0,929	1,428	1,240	0,878	0,483
	Turbineable Alto	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Turbineable Bajo	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Turbineable Pepino	570	0,067	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,227	0,675	1,037	0,900	0,638	0,351
	Total	4.017												
5	No Turbineable Alto	1.549	0,182	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031	0,615	1,832	2,817	2,446	1,732	0,953
	No Turbineable Bajo	1.113	0,131	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,442	1,316	2,024	1,757	1,245	0,685
	No Turbineable Pepino	750	0,088	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,298	0,887	1,363	1,184	0,839	0,461
	Turbineable Alto	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Turbineable Bajo	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Turbinsable Pepino	606	0,071	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,241	0,717	1,102	0,957	0,678	0,373
	Total	4.017												

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.c

4.4.4. Caudales Definidos por Escenario

Para cada alternativa se procede a evaluar tres escenarios, definidos por diferentes caudales. Estos caudales permiten estimar un costo y un beneficio asociado a las obras de bocatoma y al tramo unificado en cada alternativa.

A continuación se define cada escenario:

Escenario 1: Este escenario se define en base a la capacidad máxima de cada canal estimado según la DGA. Para el Canal Arriba de Catemu se establecen 4,0 m³/s, para el Canal Abajo de Catemu se establecen 2,5 m³/s y para el Canal Pepino o Huidobro se establecen 3,0 m³/s. El caudal adoptado en este escenario corresponde a 9,5 m³/s.

Escenario 2: Este escenario se define como un estado intermedio entre el Escenario 1 y el Escenario 3. El primero es definido en base a las capacidades máximas y el tercero en base a los derechos de cada canal, por lo que este escenario queda definido por un caudal de 13,15 m³/s.

Escenario 3: Este escenario se define en base a los derechos de los canales del Canal Arriba de Catemu, Abajo de Catemu de 7,8 m³/s y 6,0 m³/s., y en base a la capacidad máxima del Canal Pepino o Huidobro 3,0 m³/s. El caudal adoptado en este escenario corresponde a 16,3 m³/s.

El caudal disponible para la MCH por cada alternativa se escogió como el caudal que sobra una vez que se satisface la demanda de riego. El caudal de diseño se adopta como la diferencia entre la máxima capacidad de captación de las obras (caudal asociado a cada escenario) y el caudal de demanda de riego. Para cada alternativa se determina de la siguiente forma:

Alternativa 1 y 2:

$$Q_{Generación} = Q_{Escenario} - Q_{PorRegarCanaldelAlto} - Q_{PorRegarCanaldelBajo}$$

Alternativa 3, 4 y 5:

$$Q_{Generación} = Q_{Escenario} - Q_{RegadodelAlto} - Q_{RegadodelBajo} - Q_{RegadodelPepino} - Q_{PorRegardelBajo} - Q_{PorRegarDelBajo}$$

En las Figura 4.4.4-1 hasta la 4.4.4-2 se muestran las alternativas con los respectivos caudales de generación y los trazados correspondientes a cada escenario asociado.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En las figuras anteriores se puede observar el caudal necesario por cada tramo en los distintos trazados del proyecto, también se aprecia en detalle las diferencias de cota para cada alternativa y la información sobre ubicación y extensión de los distintos trazados.

Para estimar el caudal disponible para generación en cada alternativa se generó una estadística de caudales mensuales disponibles para cada alternativa. En el Anexo 4-1 (Estadísticas de Caudales Medio Mensuales de Generación) se presentan los caudales disponibles para generación para cada alternativa. Este caudal se generó usando la siguiente información:

- Estimación de Caudal Representativo de la 2ª Sección del Río Aconcagua
- Estimación de Caudal que corresponde por porcentaje a los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y el Pepino.
- Estimación del Caudal disponible en la ubicación de la MCH para cada alternativa, considerando el Caudal de Riego para cada una.

Usando la información anterior, en forma preliminar el caudal correspondiente a la 2ª Sección del Río Aconcagua, se estimó como:

$$Q_{2^a\,SecciónAconcagua} = Q_{SanFelipe} + Q_{CuencaIntermedia} + Q_{Recuperaciones}$$

Donde:

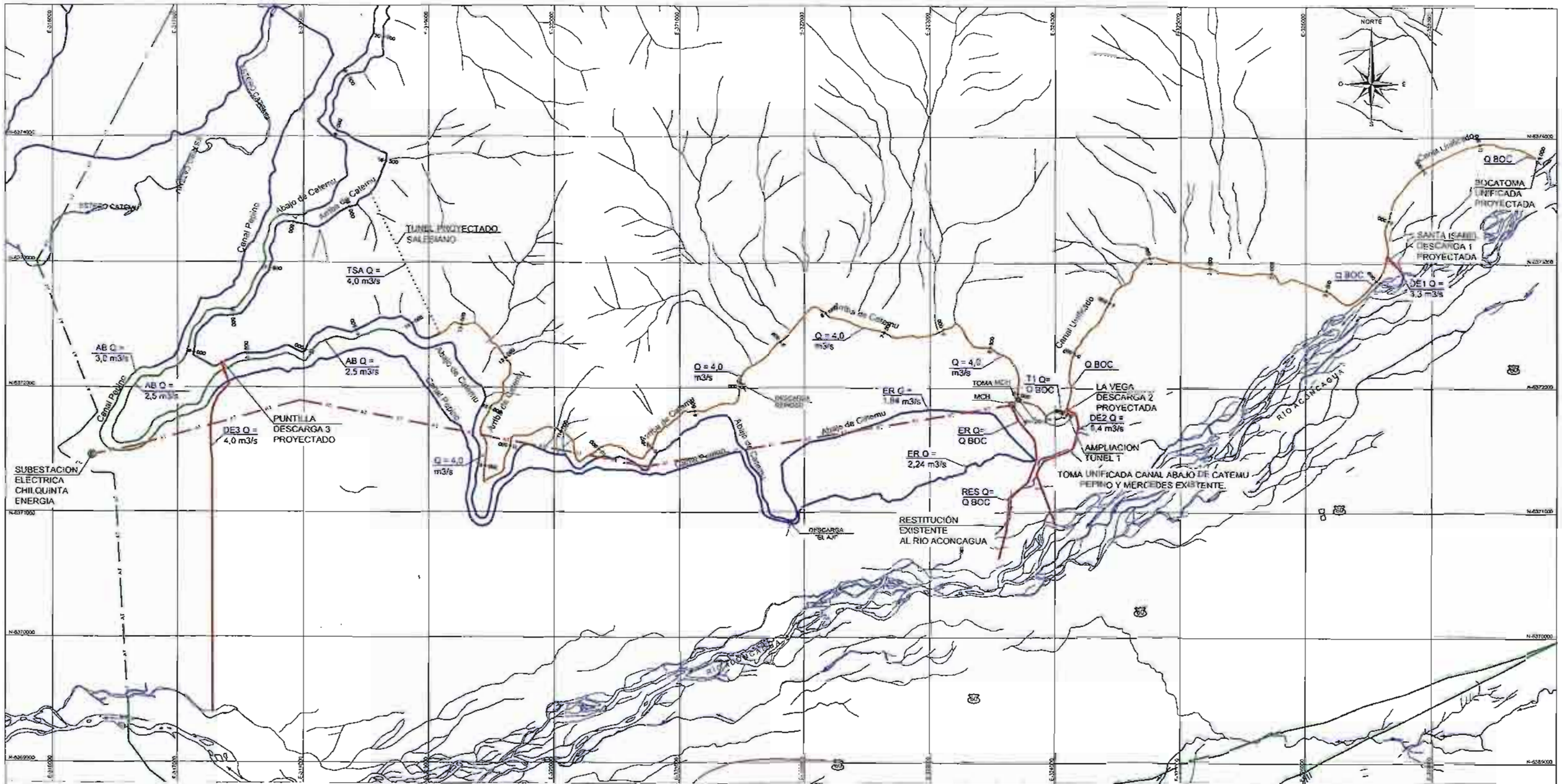
$Q_{2^a\,SecciónAconcagua}$: Representa el Caudal Disponible en la Segunda Sección del Río Aconcagua.

$Q_{SanFelipe}$: Corresponde al Caudal al inicio de la 2 Sección en la Estación San Felipe

$Q_{CuencaIntermedia}$: Corresponde al Caudal generado por el área de la 2 Sección del Río Aconcagua. Esta área se determina como la diferencia entre la Cuenca Romeral y la Cuenca San Felipe. Mediante un factor de corrección (trasposición de caudales) se estimó este caudal con el caudal de la estación San Felipe.

$Q_{Recuperaciones}$: Este caudal es de suma importancia para la segunda sección del Aconcagua. El estudio de Hidrometría realizó una estimación de las recuperaciones y afloramientos, que para la actual temporada de riego se estimó en 16,6 m³/s. El modelo M.O.S. actualizado por el DICTUC, 2010 estima un afloramiento medio de 5,2 m³/s.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl



SIMBOLOGÍA

- TRAMO SIN INTERVENCIÓN
- AMPLIACIÓN Y REVESTIMIENTO
- ABOVEDAMIENTO O ENTUBAMIENTO DE CANAL
- TUNEL PROYECTADO
- AMPLIACION TUNEL
- TRAZADO DESCARGAS PROYECTADAS
- RIO O ESTERO
- LÍNEA DE ALTA TENSIÓN EXISTENTE
- LÍNEA DE ALTA TENSIÓN PROYECTADA
- BOCATOMA PROYECTADA
- DESCARGA EXISTENTE
- DESCARGA PROYECTADA
- PUNTO DE TOMA MCH
- UBICACIÓN MINICENTRAL
- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE EMPALME

LEYENDA

AB Q=	CAUDAL DE DISEÑO EN ABOVEDAMIENTO
DE# Q=	CAUDAL DE DISEÑO DESCARGAS
Q=	CAUDAL DE DISEÑO EN CANAL
Q BOC=	CAUDAL DE DISEÑO EN BOCATOMA
ER Q=	CAUDAL ENTREGA DE RIEGO
TSA Q=	CAUDAL DE DISEÑO TUNEL SALESIANO
T1 Q=	CAUDAL DE DISEÑO TUNEL 1
T2 Q=	CAUDAL DE DISEÑO TUNEL 2
RES Q=	CAUDAL DE DISEÑO RESTITUCIÓN

Caudales en Bocatoma

ESCENARIO	Q BOC
1	9,5
2	13,15
3	16,8

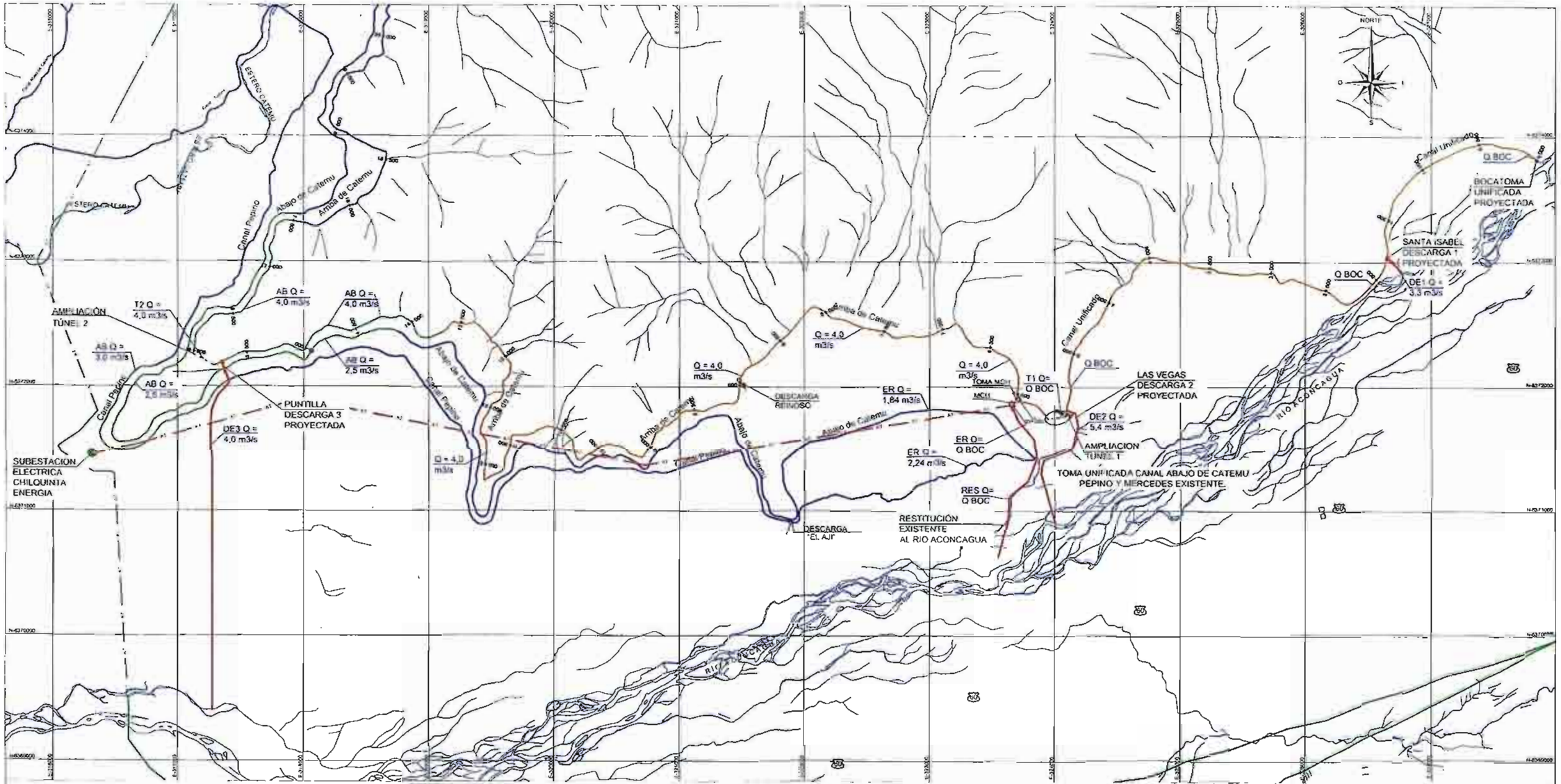
COMISION NACIONAL DE RIEGO

PROYECTO
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA

FECHA
Julio 2012

FIGURA N°
4.4.4-1

ALTERNATIVA 1



SIMBOLOGÍA

- TRAMO SIN INTERVENCIÓN
- AMPLIACIÓN Y REVESTIMIENTO
- ABOVEDAMIENTO ENTUBAMIENTO DE CANAL
- TÚNEL PROYECTADO
- AMPLIACIÓN TÚNEL
- TRAZADO DESCARGAS PROYECTADAS
- RÍO O ESTERO
- LÍNEA DE ALTA TENSIÓN EXISTENTE
- LÍNEA DE ALTA TENSIÓN PROYECTADA
- BOCATOMA PROYECTADA
- DESCARGA EXISTENTE
- DESCARGA PROYECTADA
- PUNTO DE TOMA MCH
- UBICACIÓN MINICENTRAL
- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE EMPALME

LEYENDA

AB Q=	CAUDAL DE DISEÑO EN ABOVEDAMIENTO
DE# Q=	CAUDAL DE DISEÑO DESCARGAS
Q=	CAUDAL DE DISEÑO EN CANAL
Q BOC=	CAUDAL DE DISEÑO EN BOCATOMA
ER Q=	CAUDAL ENTRADA DE AGUA
TSA Q=	CAUDAL DE DISEÑO TÚNEL SALESIANO
T1 Q=	CAUDAL DE DISEÑO TÚNEL 1
T2 Q=	CAUDAL DE DISEÑO TÚNEL 2
RES Q=	CAUDAL DE DISEÑO PROYECTADO

Caudales en Bocatoma

ESCENARIO	Q BOC
1	9,5
2	13,15
3	16,8

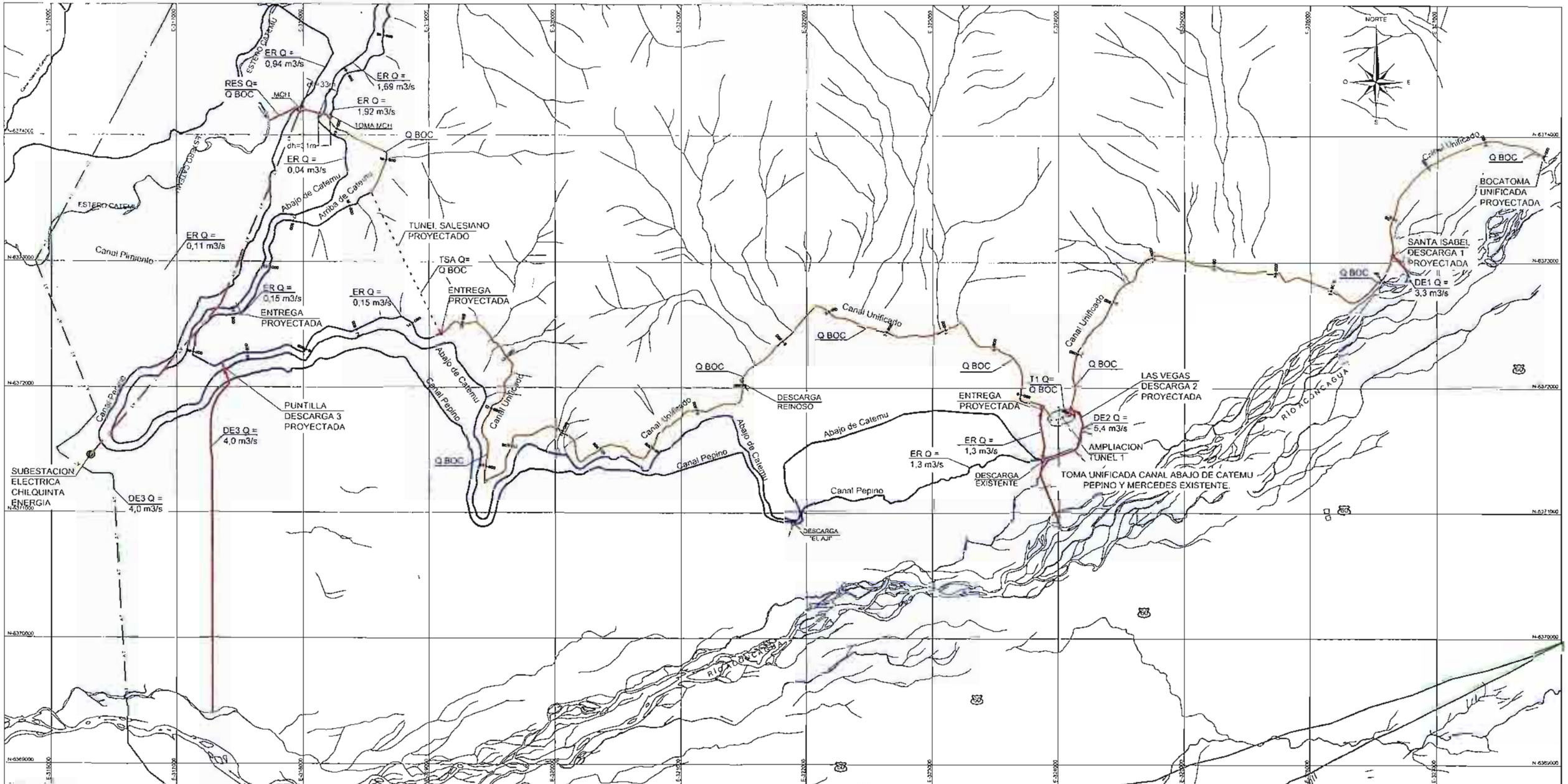
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

PROYECTO: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA

FECHA: Julio 2012

FIGURA N° 4.4.4-2

ALTERNATIVA 2



SIMBOLOGÍA

- TRAMO SIN INTERVENCIÓN
- AMPLIACION Y REVESTIMIENTO
- ABOVEDAMIENTO O ENTUBAMIENTO DE CANAL
- TÚNEL PROYECTADO
- AMPLIACIÓN TÚNEL
- TRAZADO DESCARGAS PROYECTADAS
- RÍO O ESTERO
- LÍNEA DE ALTA TENSIÓN EXISTENTE
- LÍNEA DE ALTA TENSIÓN PROYECTADA
- BOCATOMA PROYECTADA
- DESCARGA EXISTENTE
- DESCARGA PROYECTADA
- PUNTO DE TOMA MCH
- UBICACIÓN MINICENTRAL
- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE EMPALME

LEYENDA

AB Q=	CAUDAL DE DISEÑO EN ABOVEDAMIENTO
DE# Q=	CAUDAL DE DISEÑO DESCARGAS
Q=	CAUDAL DE DISEÑO EN CANAL
Q BOC=	CAUDAL DE DISEÑO EN BOCATOMA
ER Q=	CAUDAL ENTREGA DE RIEGO
TSA Q=	CAUDAL DE DISEÑO TUNEL SALESIANO
T1 Q=	CAUDAL DE DISEÑO TUNEL 1
T2 Q=	CAUDAL DE DISEÑO TUNEL 2
RES Q=	CAUDAL DE DISEÑO RESTITUCIÓN

Caudales en Bocatoma

ESCENARIO	Q BOC
1	9,5
2	13,15
3	16,8

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

PROYECTO

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA

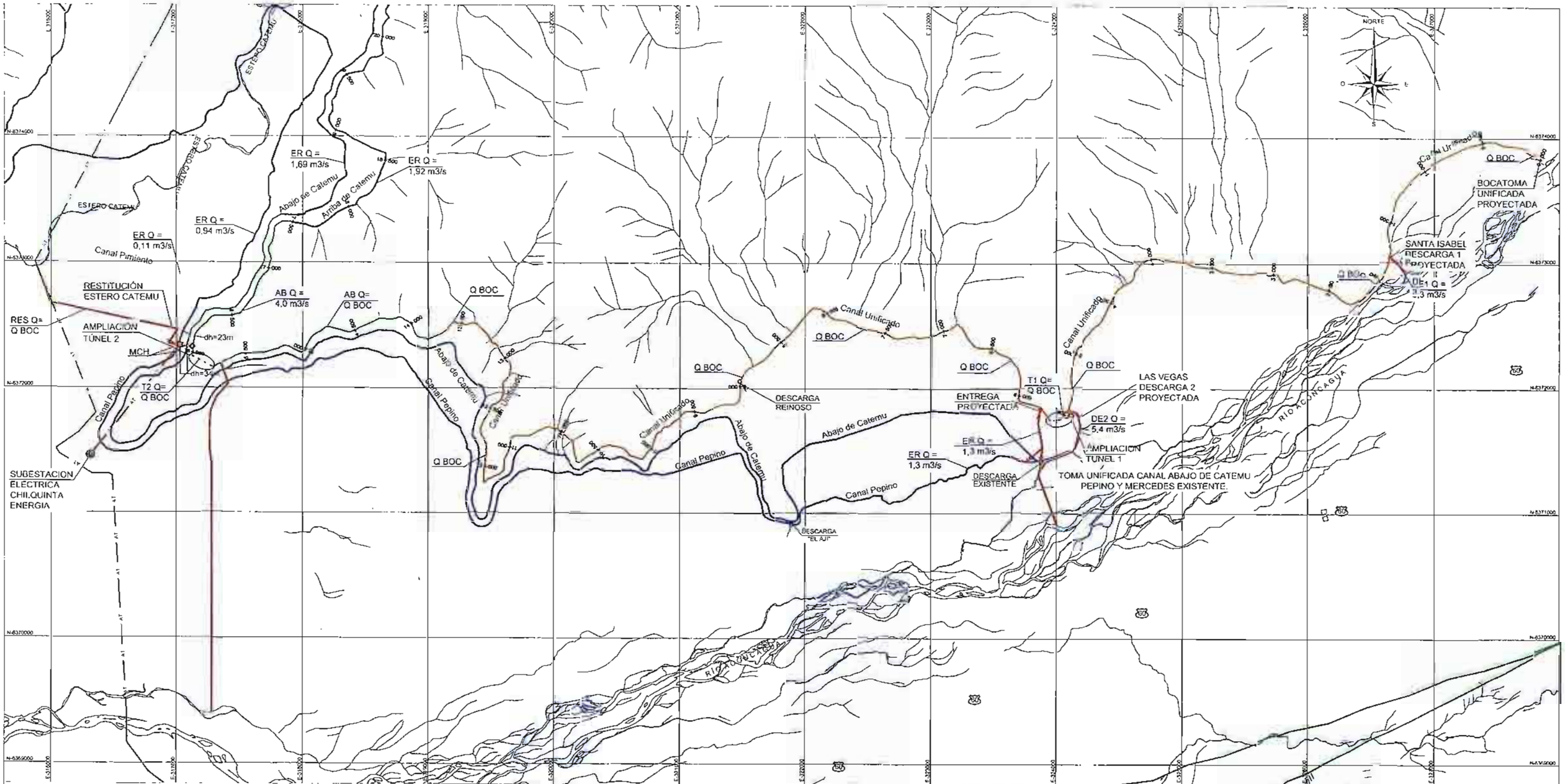
FECHA

Julio 2012

FIGURA N°

4.4.4-3

ALTERNATIVA 3



SIMBOLOGÍA

- FRAMO SIN INTERVENCIÓN
- AMPLIACION Y REVESTIMIENTO
- ABOVEDAMIENTO O ENTUBAMIENTO DE CANAL
- TÚNEL PROYECTADO
- AMPLIACIÓN TÚNEL
- TRAZADO DESCARGAS PROYECTADAS
- RÍO O ESTERO
- LÍNEA DE ALTA TENSIÓN EXISTENTE
- LÍNEA DE ALTA TENSIÓN PROYECTADA
- BOCATOMA PROYECTADA
- DESCARGA EXISTENTE
- DESCARGA PROYECTADA
- PUNTO DE TOMA MCH
- UBICACIÓN MINICENTRAL
- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE EMPALME

LEYENDA

AB Q=	CAUDAL DE DISEÑO EN ABOVEDAMIENTO
DE# Q=	CAUDAL DE DISEÑO DESCARGAS
Q=	CAUDAL DE DISEÑO EN CANAL
Q BOC=	CAUDAL DE DISEÑO EN BOCATOMA
ER Q=	CAUDAL ENTREGA DE RIEGO
TSA Q=	CAUDAL DE DISEÑO TUNEL SALESIANO
T1 Q=	CAUDAL DE DISEÑO TUNEL 1
T2 Q=	CAUDAL DE DISEÑO TUNEL 2
RES Q=	CAUDAL DE DISEÑO RESTITUCIÓN

Caudales en Bocatoma

ESCENARIO	Q BOC
1	9,5
2	13,15
3	16,8

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

PROYECTO

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO,
SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA

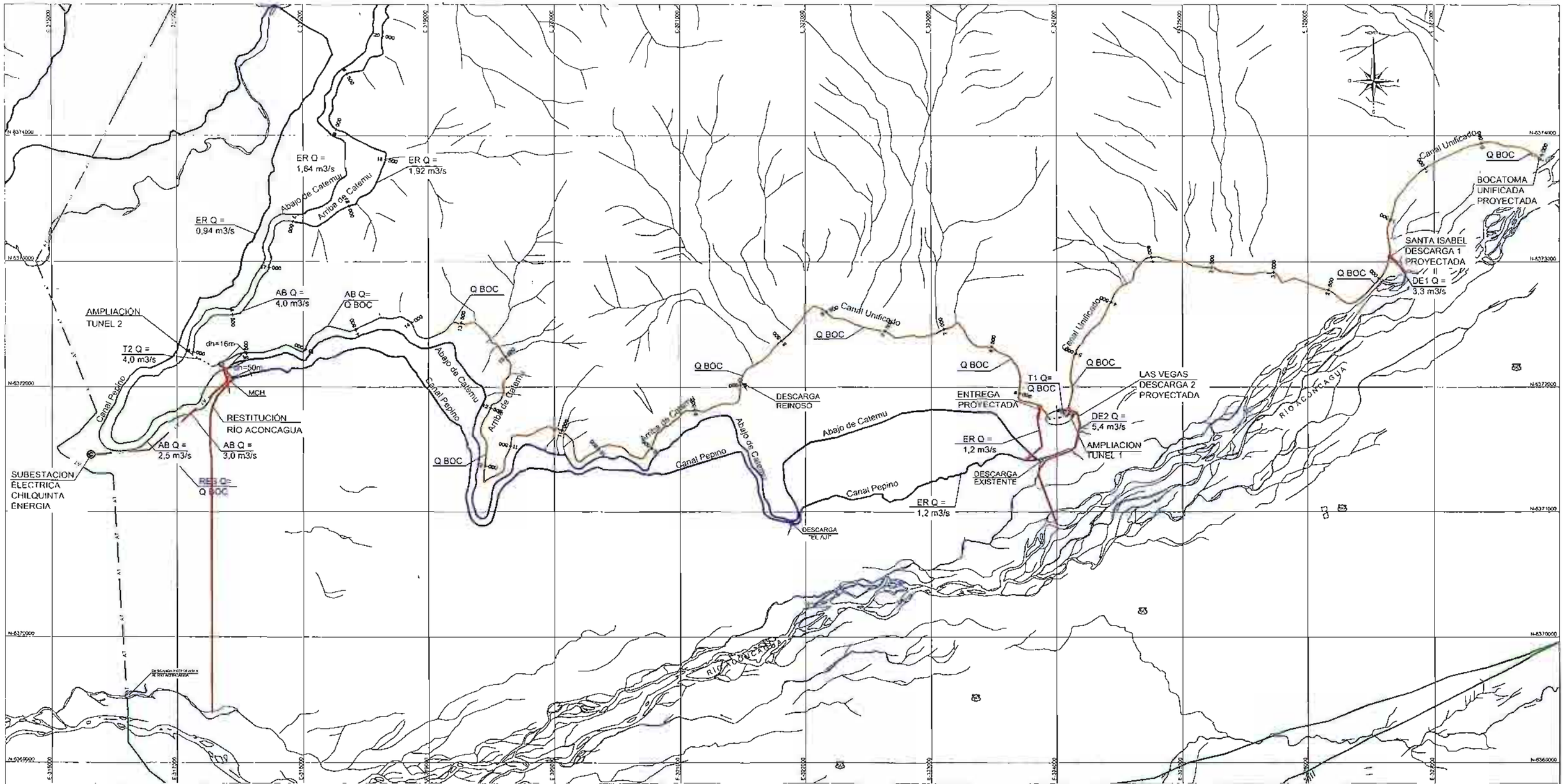
FECHA

Julio 2012

FIGURA N°

4.4.4-4

ALTERNATIVA 4



SIMBOLOGÍA

- TRAMO SIN INTERVENCIÓN
- AMPLIACION Y REVESTIMIENTO
- ABOVEDAMIENTO O ENTUBAMIENTO DE CANAL
- TÚNEL PROYECTADO
- AMPLIACIÓN TÚNEL
- TRAZADO DESCARGAS PROYECTADAS
- RÍO O ESTERO
- LÍNEA DE ALTA TENSIÓN EXISTENTE
- LÍNEA DE ALTA TENSIÓN PROYECTADA
- BOCATOMA PROYECTADA
- DESCARGA EXISTENTE
- DESCARGA PROYECTADA
- PUNTO DE TOMA MCH
- UBICACIÓN MINICENTRAL
- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE EMPALME

LEYENDA

AB Q=	CAUDAL DE DISEÑO EN ABOVEDAMIENTO
DE# Q=	CAUDAL DE DISEÑO DESCARGAS
Q=	CAUDAL DE DISEÑO EN CANAL
Q BOC=	CAUDAL DE DISEÑO EN BOCATOMA
ER Q=	CAUDAL ENTREGA DE RIEGO
TSA Q=	CAUDAL DE DISEÑO TUNEL SALESIANO
T1 Q=	CAUDAL DE DISEÑO TUNEL 1
T2 Q=	CAUDAL DE DISEÑO TUNEL 2
RES Q=	CAUDAL DE DISEÑO RESTITUCIÓN

Caudales en Bocatoma

ESCENARIO	Q BOC
1	9,5
2	13,15
3	16,8

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

PROYECTO
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO,
SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA

FECHA
Julio 2012

FIGURA N°
4.4.4–5

ALTERNATIVA 5

En el Cuadro 4.4.4-1 se presentan los valores de caudal disponible en el sector de bocatoma unificada sin considerar los afloramientos entre la bocatoma del cana l Arriba de Catemu y la bocatoma de los canales Pepino y Debajo de Catemu.

CUADRO 4.4.4-1
CAUDAL DISPONIBLE EN EL RÍO ACONCAGUA FRENTE A LA BOCATOMA DEL CANAL ARRIBA DE CATEMU (m³/s)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1950/51	4,7	6,0	4,6	3,8	5,3	4,5	5,5	10,8	15,9	9,9	4,7	4,7	6,7
1951/52	4,2	5,0	5,6	7,8	6,2	5,4	4,9	12,6	15,9	9,7	4,4	3,9	7,1
1952/53	3,9	5,5	6,3	5,7	5,6	6,6	6,6	15,9	15,9	11,7	8,2	5,8	8,2
1953/54	5,1	6,0	6,4	6,3	12,2	15,9	15,5	15,9	15,9	15,9	15,9	10,6	11,8
1954/55	6,7	6,3	6,8	5,4	6,0	6,2	5,3	15,9	15,9	14,9	6,4	5,0	8,4
1955/56	4,2	5,8	6,6	6,4	5,9	5,5	5,6	15,7	14,9	6,6	5,1	4,7	7,3
1956/57	3,9	5,6	4,4	4,7	5,5	4,8	5,0	6,8	4,4	4,4	4,0	4,1	4,8
1957/58	3,8	7,4	7,0	6,1	6,8	5,6	6,2	10,8	15,9	9,2	4,3	4,9	7,3
1958/59	4,1	5,0	8,0	5,8	5,1	5,0	9,8	10,1	7,8	4,2	4,2	4,5	6,1
1959/60	4,0	6,7	6,2	7,4	7,6	7,6	6,7	13,5	15,9	8,8	5,5	4,5	7,9
1960/61	3,5	3,9	7,1	5,0	5,4	5,2	7,1	15,9	15,9	10,4	5,7	7,2	7,7
1961/62	4,2	4,4	5,7	6,2	6,7	6,2	15,0	15,9	15,9	14,3	12,5	6,5	9,5
1962/63	4,8	5,0	6,1	6,1	6,1	5,4	8,4	15,9	15,9	8,7	5,5	5,1	7,8
1963/64	3,7	4,3	4,9	6,3	6,3	11,0	10,1	12,3	15,9	15,9	15,9	8,3	9,6
1964/65	6,0	5,7	5,6	4,5	4,4	3,7	3,1	3,5	3,7	3,9	3,8	4,0	4,3
1965/66	4,3	3,9	3,7	5,4	12,5	9,6	15,9	15,9	15,9	15,9	12,4	6,6	10,2
1966/67	5,3	5,2	6,2	6,4	6,1	6,3	7,3	14,8	15,0	11,1	7,1	4,8	8,0
1967/68	4,2	4,4	4,3	4,6	3,5	3,5	3,4	3,9	4,5	3,9	3,8	3,0	3,9
1968/69	2,7	3,1	3,3	3,2	3,2	2,5	2,4	3,1	3,2	3,7	3,4	2,5	3,0
1969/70	2,4	2,8	3,8	3,0	3,4	2,8	2,8	6,8	15,9	8,4	5,3	4,2	5,1
1970/71	3,2	4,4	4,0	5,2	4,5	4,0	5,1	12,1	10,7	4,8	4,2	3,4	5,5
1971/72	2,7	3,3	3,4	4,3	4,8	4,6	6,9	15,9	10,0	6,4	4,4	3,4	5,9
1972/73	2,9	6,3	11,7	9,2	11,9	13,9	13,7	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	12,4
1973/74	8,7	7,3	7,1	8,1	6,6	4,9	5,7	15,1	15,9	15,9	9,5	6,6	9,3
1974/75	5,1	5,4	7,5	8,2	7,0	6,0	11,5	15,9	15,9	15,9	9,0	5,9	9,5
1975/76	4,9	5,0	4,9	5,5	5,7	5,5	5,4	5,6	14,4	7,9	4,2	4,1	6,1
1976/77	3,8	4,0	4,4	3,9	4,0	3,7	3,8	15,5	15,0	9,9	4,3	4,8	6,4
1977/78	3,4	4,4	5,0	8,9	8,9	15,6	15,9	15,9	15,9	15,9	12,4	6,7	10,8
1978/79	5,2	5,4	5,4	11,6	9,0	7,7	14,7	15,9	15,9	15,9	15,9	8,3	10,9
1979/80	6,0	6,1	5,3	4,9	5,7	6,0	6,6	8,6	15,9	15,9	9,5	7,8	8,2
1980/81	12,7	9,0	8,9	9,0	9,0	8,7	11,0	15,9	15,9	15,9	15,9	8,9	11,7
1981/82	6,0	7,8	6,6	4,9	5,2	4,2	4,1	7,4	4,5	5,2	4,0	3,4	5,3
1982/83	3,8	5,7	12,7	15,9	13,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	13,6
1983/84	9,1	7,4	7,1	8,3	8,2	7,2	15,9	15,9	15,9	15,9	13,9	6,8	11,0
1984/85	5,5	5,6	5,1	11,4	8,2	9,4	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,4	11,7
1985/86	7,7	7,3	6,5	6,7	5,8	4,3	4,6	15,9	15,9	10,5	6,6	5,5	8,1
1986/87	4,5	6,1	15,9	9,6	8,7	8,6	13,4	15,9	15,9	15,9	15,9	10,4	11,7
1987/88	5,9	6,1	7,6	15,9	15,9	13,2	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	13,8	13,2
1988/89	7,5	6,2	5,3	4,5	4,8	3,9	3,9	6,6	4,8	4,5	4,8	3,4	5,0
1989/90	2,9	4,1	3,4	3,8	6,5	7,9	11,9	15,9	15,9	7,4	4,5	3,7	7,3
1990/91	2,8	3,3	3,6	3,7	3,7	3,9	4,2	6,5	4,2	4,0	3,6	3,2	3,9

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.4.4-1
CAUDAL DISPONIBLE EN EL RÍO ACONCAGUA FRENTE A LA BOCATOMA DEL CANAL ARRIBA DE CATEMU (m³/s)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1991/92	2,8	5,0	7,2	11,1	7,9	11,6	12,0	15,9	15,9	15,9	13,8	7,9	10,6
1992/93	5,5	7,2	10,1	7,7	7,2	8,1	13,1	15,9	15,9	15,9	8,7	5,7	10,1
1993/94	5,8	14,1	11,6	6,9	6,2	6,0	7,1	12,5	15,5	10,7	4,5	4,3	8,8
1994/95	3,4	4,5	4,6	5,1	5,6	6,0	6,1	14,6	15,9	8,9	4,4	3,7	6,9
1995/96	3,2	4,4	4,7	4,8	4,4	5,3	4,0	10,8	8,1	4,1	4,0	3,6	5,1
1996/97	3,0	3,6	3,8	3,8	3,4	2,6	2,6	2,9	3,3	3,3	3,1	2,9	3,2
1997/98	2,6	3,8	15,9	10,4	12,5	15,0	13,8	15,9	15,9	15,9	15,9	8,7	12,2
1998/99	7,1	6,5	5,7	4,7	4,6	3,5	4,1	3,5	4,1	3,9	3,8	3,2	4,6
1999/00	2,7	3,6	4,0	4,0	4,9	8,0	10,9	15,9	13,8	6,9	4,3	3,7	6,9
2000/01	3,3	4,1	7,2	9,7	8,7	9,4	15,9	15,9	15,9	15,9	13,0	6,0	10,4
2001/02	4,6	5,3	4,8	6,2	7,7	7,8	14,1	15,9	15,9	15,9	7,9	4,4	9,2
2002/03	3,8	6,5	11,6	10,8	12,5	11,6	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	10,6	12,2
2003/04	5,7	6,7	7,0	6,6	5,8	5,5	8,6	15,9	14,4	10,5	4,9	4,0	8,0
2004/05	3,8	4,1	4,4	4,5	5,1	6,0	3,9	7,3	9,8	5,3	4,1	3,6	5,2
2005/06	2,9	4,3	12,2	7,7	11,3	14,1	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	6,1	11,5
Max.	12,7	14,1	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	13,6
Min.	2,4	2,8	3,3	3,0	3,2	2,5	2,4	2,9	3,2	3,3	3,1	2,5	3,0
Dsv.Est.	1,9	1,8	2,9	2,8	2,9	3,6	4,7	4,4	4,5	4,8	4,9	3,3	2,8
Media	4,6	5,5	6,6	6,7	7,0	7,2	8,9	12,8	13,3	10,9	8,4	6,1	8,2

Fuente: Elaboración propia

Para estimar un afloramiento más realista se supuso una distribución mensual que en promedio represente los afloramientos estimados para la segunda sección la que se presenta en el Cuadro 4.4.4-2.

CUADRO 4.4.4-2
CAUDAL DE AFLORAMIENTO ESTIMADO

	Abr-Jun	Jul-Sept	Oct-Dic	En-Marz
Afloramiento Promedio Estimado (m³/s)	5,22	4,97	5,34	5,27

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 4.4.4-3 se presentan los valores de caudal disponible en el sector de bocatoma del canal Abajo de Catemu y Pepino, considerando los afloramientos entre la bocatoma del canal Arriba de Catemu y la bocatoma de los canales Abajo de Catemu y Pepino.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.4.4-3
CAUDAL DISPONIBLE EN EL RÍO ACONCAGUA FRENTE A LA BOCATOMA DEL CANAL PEPINO Y ABAJO DE CATEMU (m^3/s)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1950/51	10,8	13,6	10,5	8,6	12,2	10,3	12,6	24,6	57,2	22,4	10,7	10,7	17,0
1951/52	9,6	11,4	12,8	17,8	14,2	12,2	11,2	28,7	37,0	22,0	9,9	9,0	16,3
1952/53	8,9	12,6	14,4	13,0	12,7	15,1	14,9	41,6	58,8	26,7	18,7	13,2	20,9
1953/54	11,5	13,7	14,6	14,2	27,7	40,2	35,2	118,0	175,0	114,1	61,5	24,0	54,1
1954/55	15,3	14,2	15,4	12,4	13,6	14,0	12,1	39,4	40,8	33,8	14,6	11,4	19,7
1955/56	9,6	13,2	15,0	14,5	13,4	12,6	12,8	35,7	33,8	15,0	11,5	10,8	16,5
1956/57	8,8	12,8	10,1	10,6	12,5	11,0	11,3	15,6	9,9	10,0	9,1	9,3	10,9
1957/58	8,6	16,8	15,9	13,9	15,4	12,7	14,0	24,7	40,1	20,8	9,7	11,2	17,0
1958/59	9,3	11,3	18,2	13,2	11,5	11,3	22,3	23,1	17,6	9,6	9,6	10,3	14,0
1959/60	9,1	15,2	14,1	16,7	17,2	17,4	15,3	30,7	50,0	20,1	12,5	10,3	19,0
1960/61	8,0	9,0	16,2	11,4	12,4	11,8	16,1	56,8	65,5	23,6	12,9	16,5	21,7
1961/62	9,6	10,1	13,1	14,0	15,3	14,0	34,2	72,3	80,2	32,4	28,4	14,7	28,2
1962/63	10,8	11,4	13,9	13,9	14,0	12,4	19,1	61,8	48,5	19,8	12,6	11,6	20,8
1963/64	8,4	9,8	11,1	14,4	14,4	25,0	22,9	27,9	140,9	123,5	47,0	18,8	38,7
1964/65	13,7	13,0	12,8	10,3	10,0	8,5	7,1	7,9	8,3	8,9	8,7	9,1	9,9
1965/66	9,7	8,9	8,4	12,2	28,3	21,9	37,9	85,1	68,3	75,5	28,2	15,0	33,3
1966/67	12,1	11,8	14,0	14,4	13,8	14,2	16,7	33,6	34,2	25,3	16,2	10,8	18,1
1967/68	9,5	9,9	9,8	10,4	8,1	8,0	7,8	8,8	10,1	9,0	8,6	6,8	8,9
1968/69	6,2	7,1	7,4	7,2	7,4	5,6	5,6	7,1	7,3	8,3	7,8	5,8	6,9
1969/70	5,4	6,5	8,7	6,8	7,6	6,4	6,3	15,4	50,9	19,1	12,1	9,5	12 9
1970/71	7,4	10,0	9,1	11,7	10,3	9,2	11,6	27,5	24,3	10,9	9,6	7,7	12 4
1971/72	6,2	7,6	7,7	9,8	10,8	10,5	15,7	45,0	22,8	14,6	9,9	7,7	14 0
1972/73	6,6	14,2	26,6	20,9	27,1	31,5	31,2	63,2	186,7	173,8	84,0	46,0	59 3
1973/74	19,7	16,5	16,0	18,5	14,9	11,1	12,9	34,4	36,4	45,4	21,6	15,1	21 9
1974/75	11,7	12,4	17,0	18,7	16,0	13,7	26,1	49,7	53,4	54,4	20,5	13,4	25 6
1975/76	11,1	11,3	11,2	12,5	12,9	12,5	12,2	12,7	32,6	18,0	9,5	9,3	13 8
1976/77	8,7	9,1	10,0	8,8	9,1	8,4	8,7	35,1	34,2	22,4	9,8	10,8	14 6
1977/78	7,8	10,0	11,4	20,3	20,3	35,5	48,7	77,4	111,3	55,9	28,2	15,3	36 9
1978/79	11,8	12,4	12,2	26,3	20,4	17,5	33,5	79,8	162,0	113,1	38,8	18,9	45 6
1979/80	13,6	14,0	12,1	11,2	12,9	13,7	15,1	19,5	39,7	43,7	21,6	17,8	19 6
1980/81	28,9	20,5	20,3	20,6	20,5	19,7	24,9	50,1	97,7	52,2	37,7	20,2	34 4
1981/82	13,7	17,8	14,9	11,1	11,8	9,5	9,3	16,7	10,2	11,8	9,2	7,8	12 0
1982/83	8,6	13,0	28,8	42,7	31,7	39,3	41,9	77,5	181,8	159,8	101,5	42,6	64 1
1983/84	20,7	16,9	16,2	18,9	18,7	16,4	43,7	78,5	102,5	56,9	31,6	15,4	36,4
1984/85	12,6	12,7	11,5	25,9	18,6	21,5	58,7	78,6	106,7	86,9	46,4	34,9	42,9
1985/86	17,6	16,7	14,8	15,2	13,2	9,7	10,5	39,6	36,4	24,0	15,1	12,6	18,8
1986/87	10,2	13,8	45,7	21,8	19,7	19,7	30,4	65,5	138,5	86,1	44,5	23,7	43,3
1987/88	13,5	13,9	17,3	60,8	54,9	29,9	48,3	144,3	172,1	141,8	64,1	31,4	66,0
1988/89	17,0	14,0	12,1	10,3	10,8	8,9	8,8	14,9	10,9	10,3	11,0	7,6	1' 4
1989/90	6,6	9,2	7,7	8,8	14,8	17,9	27,0	64,0	39,4	16,8	10,1	8,5	19,2
1990/91	6,3	7,4	8,2	8,4	8,3	8,9	9,5	14,7	9,5	9,0	8,1	7,2	8,8
1991/92	6,5	11,4	16,4	25,2	18,0	26,3	27,2	65,2	70,9	64,3	31,4	17,9	31,7
1992/93	12,6	16,4	22,9	17,6	16,3	18,4	29,9	52,3	58,3	47,5	19,7	12,9	27,1
1993/94	13,1	32,0	26,3	15,7	14,1	13,7	16,1	28,4	35,2	24,4	10,3	9,7	19,9
1994/95	7,7	10,3	10,4	11,6	12,7	13,6	13,8	33,2	37,6	20,2	10,0	8,5	15,8
1995/96	7,3	10,0	10,7	10,9	10,1	12,0	9,1	24,6	18,4	9,4	9,0	8,2	11,7
1996/97	6,7	8,3	8,7	8,7	7,7	5,9	5,9	6,5	7,4	7,5	7,0	6,6	7,2
1997/98	5,9	8,7	40,3	23,6	28,4	34,1	31,3	63,0	120,3	141,7	46,8	19,8	47,0
1998/99	16,2	14,7	13,0	10,7	10,4	8,0	9,2	8,0	9,3	8,9	8,7	7,2	10,4
1999/00	6,2	8,3	9,2	9,1	11,2	18,3	24,8	40,3	31,3	15,6	9,7	8,4	16,0
2000/01	7,6	9,2	16,4	22,1	19,7	21,4	47,9	60,0	111,4	60,0	29,6	13,7	34,9
2001/02	10,6	12,1	11,0	14,1	17,4	17,7	32,2	45,3	92,7	37,4	18,0	10,1	26,5

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería cl

CUADRO 4.4.4-3
CAUDAL DISPONIBLE EN EL RÍO ACONCAGUA FRENTE A LA BOCATOMA DEL CANAL PEPINO Y ABAJO DE CATEMU (m³/s)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
2002/03	8,5	14,8	26,3	24,5	28,3	26,4	42,4	89,3	126,1	115,4	59,7	24,1	48,8
2003/04	13,0	15,3	15,8	15,0	13,3	12,6	19,5	41,9	32,8	24,0	11,2	9,1	18,6
2004/05	8,5	9,2	9,9	10,1	11,7	13,7	8,9	16,7	22,4	12,0	9,2	8,1	11,7
2005/06	6,5	9,8	27,7	17,5	25,7	32,0	44,9	102,5	156,8	136,8	98,7	13,8	56,1

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de este caudal que le corresponde a los Canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino o Huidobro se muestra en el Cuadro 4.4.4-3.

CUADRO 4.4.4-3
CAUDAL DISPONIBLE EN BOCATOMA ACONCAGUA (m³/s)

Canal	Caudal por Derecho	
	(L/s)	% del río
Arriba de Catemu	6.925	19,13%
Abajo de Catemu	6.000	16,18%
Pepino o Huidobro	3.000	8,09%

Fuente: Elaboración propia

El caudal de la segunda sección corresponde a 36.205 m³/s. El porcentaje que le corresponde a estos tres canales por derecho a 43,99% del total de los caudales presentados en el Cuadro 4.4.4-3. Con esta información se procedió a estimar un caudal representativo disponible en la ubicación de la minicentral para cada alternativa. En el Anexo 4-1 se presenta en detalle la estadística considerada.

4.5. DISEÑOS SIMPLIFICADOS E INVERSIONES TOTALES

4.5.1. Generalidades

El objetivo del Acápite 4.5 es obtener los costos de las obras proyectadas para cada una de alternativas descritas en el Acápite 4.3.4, para distintos caudales de diseño, de forma de obtener la mejor alternativa respecto a los costos y beneficios.

Las obras fueron valorizadas a partir de precios unitarios propuestos por el consultor, de la actualización de los costos incluidos en los estudios anteriores y de fórmulas paramétricas obtenidas de estudios anteriores. Se realizaron diseños simplificados en caso que amerite, de forma de valorizar las obras y obtener un presupuesto preliminar por alternativa.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El itemizado general utilizado para las alternativas de proyecto se presenta en el Cuadro 4.5.1-1, donde "X" representa la presencia de dicho componente en el presupuesto. Para estimar las inversiones totales en las obras de riego se tiene como antecedente el presupuesto del estudio de mejoramiento de Canales Catemu realizado por Electrowatt (2000), el que se presenta en el Cuadro 4-16 con los costos actualizados a la fecha 1-6-2011 según el valor de la UF (1 UF=$ 21.811,94).

CUADRO 4.5.1-1
ITEMIZADO GENERAL DEL PRESUPUESTO

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVA				
		1	2	3	4	5
I	OBRAS DE RIEGO MEJORAMIENTO CANALES CATEMU					
I.1.	Instalación de Faenas y Obras Provisionales (12 meses)	X	X	X	X	X
I.2.	Canal de Acceso y Bocatoma Unificada	X	X	X	X	X
I.3.	Desarenador (Incluye Cámara de Rejas y Equipo de Limpia Rejas)	X	X	X	X	X
I.4.	Construcción Túnel Salesianos (Km 13,7)	X		X		
I.5.	Aumento de Capacidad Túnel 1 (Km 5,5)	X	X	X	X	X
I.6.	Aumento de Capacidad Túnel 2 (Km 15,8)		X		X	X
I.7.	Canal Unificado Arriba de Catemu	X	X	X	X	X
I.8.	Canal Arriba de Catemu	X	X		X	X
I.9.	Abovedamiento Canal Abajo de Catemu (4,0 km, En Sector Puntilla Las Máquinas)	X	X			X
I.10.	ABOVEDAMIENTO CANAL PEPINO (2,1 km, En Sector Puntilla Las Máquinas)	X	X			X
I.11.	Descarga Santa Isabel (Km 1,80)	X	X	X	X	X
I.12.	Descarga La Vega (Km 5,45)	X	X	X	X	X
I.13.	Descarga La Puntilla (Km 15,72)	X	X			
I.14.	Obras de Entrega a Canales Matrices			X	X	X
I.15.	Obras Anexas	X	X	X	X	X
I.16.	Rápido de Descarga desde Canal del Alto a MCH (L=142 m)	X	X	X	X	X
I.17.	Canal de Restitución y Entrega A Canal Pepino y Canal Abajo de Catemu (L=511 m)	X	X	X	X	X
	Gastos Generales + Utilidades Obras de Riego (25% + 20%)					
I.18.	Expropiaciones para Obras de Riego	X	X	X	X	X
II	MCH					
II.1.	Instalación de Faenas y Obras Provisionales	X	X	X	X	X
II.2.	Obras Civiles	X	X	X	X	X
II.3.	Suministro E Instalación de Maquinarias para Minicentral	X	X	X	X	X
II.4.	Línea de Transmisión	X	X	X	X	X
	Gastos Generales + Utilidades MCH y Obras Complementarias (25% + 20%)					
II.5	Expropiaciones MCH	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 4.5.1-2
PRESUPUESTO ACTUALIZADO MEJORAMIENTO CANALES ARRIBA Y ABAJO DE CATEMU - ELECTROWATT

Ítem	Descripción	Costo ($)	Costo Act ($)
1	Instalación de Faenas	61.974.000	95.599.234
2	Obras en Bocatoma	35.013.450	54.010.698
3	Descarga Santa Isabel	30.078.848	46.398.729
4	Descarga Vega	97.211.188	149.955.064

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.1-2
PRESUPUESTO ACTUALIZADO MEJORAMIENTO CANALES ARRIBA Y ABAJO DE CATEMU - ELECTROWATT

Ítem	Descripción	Costo ($)	Costo Act ($)
5	Descarga San José	594.233.732	916.647.136
6	Descarga Reinoso	258.525.141	398.793.130
7	Descarga Las Varillas y Entrega a Canal Abajo de Catemu	139.155.257	214.656.727
8	Entrega Santa Margarita	35.239.603	54.359.555
9	Entrega El Pimiento	48.352.605	74.587.279
10	Mejoramiento Canal Catemu	225.005.252	347.086.355
11	Obras de Caída al Canal	13.517.990	20.852.446
12	Cruces de Camino	24.702.164	38.104.817
13	Obras Tipo de Entrega	23.689.015	36.541.964
14	Cierros Perimetrales	7.450.964	11.493.634
	Subtotal Costo Directo	1.594.149.209	2.459.086.768
15	Gastos Generales, Utilidad e Imprevistos Contratista	797.074.604	1.229.543.383
	Subtotal Costo Neto	2.391.223.813	3.688.630.151
16	Expropiaciones	17.723.573	27.339.852
	Total General	**2.408.947.386**	**3.715.970.003**

Fuente: Estudio de Diseño Electrowatt (2000)

Los costos fueron determinados por Electrowatt, teniendo como fecha base el 15-02-1998 con un valor de la UF de $14.140.

En el estudio realizado por Electrowatt se realizó un completo estudio de los precios unitarios requeridos para el proyecto, por lo que para esta etapa de evaluación de alternativas, se decidió que una buena aproximación para estimar los precios unitarios es actualizar los de dicho estudio, actualización que se presenta en el Cuadro 4.5.1-3.

Por otra parte, del estudio "Análisis Comparado Entre Conducción Entubada y Conducción Abierta en Canales de Riego", Procivil (2009), se obtuvieron las fórmulas tipo Williams, las que sirven para estimar el costo de obras tipo que componen a minicentrales hidroeléctricas. Dichas fórmulas dependen del caudal de diseño, altura de caída, salto neto, carga máxima sobre las válvulas, diámetro de las válvulas, N° de unidades (cámaras de carga, casas de máquinas, cámaras disipadoras de energía, válvulas mariposa, turbinas, generadores, transformadores), la velocidad de rotación del generador, y de consideraciones económicas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.1-3
PRECIOS UNITARIOS

Descripción	Cant	Unid	P.U. ($)	P.U. Act ($)
Hormigón H25	1	m³	96.241	148.458
Excavación en Material Común a Maquina	1	m³	1.443	2.226
Excavación en Roca	1	m³	5.920	9.132
Confección de Terraplén con Material de Empréstito	1	m³	1.988	3.067
Relleno con Placa Vibratoria	1	m³	3.283	5.064
Hormigón H5 de 100 kg cem/m³	1	m³	39.380	60.746
Hormigón H25	1	m³	96.241	148.458
Hormigón H30	1	m³	98.943	152.627
H25 Radier	1	m³	56.601	87.311
H25 Talud	1	m³	82.689	127.554
Enfierradura A63-42H	1	kg	545	841
Mamposteria de Piedra	1	m³	46.229	71.311
Suministro y Transporte Interno Tubería de HDPE DN 1200 PN6	1	m		(*) 350.000
Suministro y Transporte Interno Tubería de HDPE DN 1600 PN6	1	m		(*) 620.000
Suministro y Transporte Interno Tubería de HDPE DN 1400 PN10	1	m		(*) 403.750

(*) Corresponden a valores estimados por este Consultor
Fuente: Elaboración propia

Las consideraciones económicas requeridas para la evaluación de las fórmulas tipo Williams se presentan en el Cuadro 4.5.1-4.

CUADRO 4.5.1-4
CONSIDERACIONES ECONÓMICAS REQUERIDAS
PARA EVALUACIÓN DE FÓRMULAS DE WILLIAMS

Variable	Valor	Unidad	Descripción
fecha	01-06-2011		Fecha de referencia
TC	465,1	$/US$	Tasa de cambio 1 US$ en moneda nacional
UF	21.811,94	$	Valor de la unidad de fomento con fecha :
meses	5,0	mes	Tiempo de duración del periodo constructivo
CPI	219,7		Índice de Precios del Consumidor Extranjero base 82-84=100
PCE	657,3		PCE = CPI*2,992
IPC	150,2		Índice de Precios del Consumidor Nacional base dic 98 =100
PCN	3.604,1		PCN = IPC*23,9953

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Caudales y Longitudes de Diseño

Los caudales utilizados para el diseño de las obras de toma (bocatoma unificada y canal de acceso, desarenador) y la conducción hasta el punto de descarga, con o sin MCH, están definidas por los escenarios de proyecto, con caudales de 16,8, 13,15 y 9,5 m³/s. En

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

los Cuadros 4.5.2-1 al 4.5.2-3 se presentan los caudales utilizados para los diseños simplificados de las obras proyectadas para cada alternativa y escenarios.

CUADRO 4.5.2-1
CAUDALES POR OBRA PARA DISEÑOS SIMPLIFICADOS
ESCENARIO 1 (Q_{BOC}=9,50 m³/s)

Obras Proyectadas	Alternativa				
	1	2	3	4	5
Obras de Toma y Limpieza					
Canal de Acceso	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50
Bocatoma Unificada	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50
Desarenador	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50
Obras de Trazado en Canal Arriba de Catemu					
Canal Unificado	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50
Canal Arriba de Catemu	4,00	4,00	-	4,00	4,00
Ampliación y Proyección de Túneles					
Ampliación Túnel 1 Km 5,50	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50
Ampliación Túnel 2 Km 15,80	-	4,00	-	9,50	4,00
Túnel Salesiano Km 13,70	4,00	-	9,50	-	-
Entrega Final Canal Unificado					
Km 5,95 con o sin MCH	9,50	9,5	-	-	-
Km 15,72 con o sin MCH hasta canal Pepino	-	-	-	-	9,5
Km 16,05 con o sin MCH hasta canal Pepino	-	-	-	9,5	-
Km 17,70 con o sin MCH hasta canal Pepino	-	-	9,5	-	-
Obra de Restitución					
Canal hacia río Aconcagua Km 5,95	9,50	9,50	-	-	-
Canal hacia río Aconcagua Km 15,72	-	-	-	-	9,50
Canal hacia a estero Catemu Km 16,05	-	-	-	9,50	-
Canal hacia a estero Catemu Km 17,7	-	-	9,50	-	-
Obras de Descarga hacia Río Aconcagua					
Descarga Santa Isabel Km 1,80	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30
Descarga Las Vegas Km 5,45	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40
Descarga Puntilla Km 15,72	4,00	4,00	4,00	-	-
Cruce de Quebradas	X	X	X	X	X
Obra de Entrega de Caudal de Riego para Regantes ubicados antes del fin del canal unificado					
Obra Entrega de caudales de riego canal Abajo de Catemu Km 13,7	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
Obra Entrega de caudales de riego Km 5,95	4,08	4,08	1,30	1,30	1,20
Abovedamiento o Entubamiento Puntilla Las Máquinas					
Canal Arriba de Catemu Km 13,70 - 15,72	-	4,00	-	9,50	9,50
Canal Arriba de Catemu Km 15,72 - 16,05	-	4,00	-	9,50	4,00
Canal Arriba de Catemu Km 16,05 - 17,70	-	4,00	-	4,00	4,00
Canal Abajo de Catemu Km 14,10 - 15,72	2,50	2,50	-	-	-
Canal Abajo de Catemu Km 15,72 - 16,05	2,50	2,50	-	-	2,50
Canal Abajo de Catemu Km 16,72 - 17,70	2,50	2,50	-	2,50	2,50
Canal Pepino Km 15,72 + 2.048 m por Pepino, P. Las Máquinas	3,00	3,00	-	-	3,00

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.2-2
CAUDALES POR OBRA PARA DISEÑOS SIMPLIFICADOS
ESCENARIO 2 (Q_{BOC}=13,15 m³/s)

Obras Proyectadas	Alternativa				
	1	2	3	4	5
Obras de Toma y Limpieza					
Canal de Acceso	13,15	13,15	13,15	13,15	13,15
Bocatoma Unificada	13,15	13,15	13,15	13,15	13,15
Desarenador	13,15	13,15	13,15	13,15	13,15
Obras de Trazado en Canal Arriba de Catemu					
Canal Unificado	13,15	13,15	13,15	13,15	13,15
Canal Arriba de Catemu	4,00	4,00	-	4,00	4,00
Ampliación y Proyección de Túneles					
Ampliación Túnel 1 Km 5,50	13,15	13,15	13,15	13,15	13,15
Ampliación Túnel 2 Km 15,80	-	4,00	-	13,15	4,00
Túnel Salesiano Km 13,70	4,00	-	13,15	-	-
Entrega Final Canal Unificado					
Km 5,95 con o sin MCH	13,15	13,15	-	-	-
Km 15,72 con o sin MCH hasta canal Pepino	-	-	-	-	13,15
Km 16,05 con o sin MCH hasta canal Pepino	-	-	-	13,15	-
Km 17,70 con o sin MCH hasta canal Pepino	-	-	13,15	-	-
Obra de Restitución					
Canal hacia río Aconcagua Km 5,95	13,15	13,15	-	-	-
Canal hacia río Aconcagua Km 15,72	-	-	-	-	13,15
Canal hacia a estero Catemu Km 16,05	-	-	-	13,15	-
Canal hacia a estero Catemu Km 17,7	-	-	13,15	-	-
Obra de Descarga Hacia Río Aconcagua					
Descarga Santa Isabel Km 1,80	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30
Descarga Las Vegas Km 5,45	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40
Descarga Puntilla Km 15,72	4,00	4,00	4,00	-	-
Cruce de Quebradas	X	X	X	X	X
Obra de Entrega de Caudal de Riego para Regantes Ubicados Antes del Fin del Canal Unificado					
Obra Entrega de caudales de riego canal Abajo de Catemu Km 13,7	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
Obra Entrega de caudales de riego Km 5,95	4,08	4,08	1,30	1,30	1,20
Abovedamiento o Entubamiento Puntilla Las Máquinas					
Canal Arriba de Catemu Km 13,70 - 15,72	-	4,00	-	13,15	13,15
Canal Arriba de Catemu Km 15,72 - 16,05	-	4,00	-	13,15	4,00
Canal Arriba de Catemu Km 16,05 - 17,70	-	4,00	-	4,00	4,00
Canal Abajo de Catemu Km 14,10 - 15,72	2,50	2,50	-	-	-
Canal Abajo de Catemu Km 15,72 - 16,05	2,50	2,50	-	-	2,50
Canal Abajo de Catemu Km 16,72 - 17,70	2,50	2,50	-	2,50	2,50
Canal Pepino Km 15,72 + 2.048 m por Pepino, P. Las Máquinas	3,00	3,00	-	-	3,00

Fuente: Elaboración propia

La longitud del abovedamiento en el sector Puntilla las Máquinas para los tres canales se incluye en el Cuadro 4.5.2-3, correspondiente a la zona de derrumbes, determinada en el estudio de Procivil (1996), y en el Cuadro 4.5.2-4 se presentan las longitudes del tipo de mejoramiento de los canales matrices para cada alternativa.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.2-3
CAUDALES POR OBRA PARA DISEÑOS SIMPLIFICADOS
ESCENARIO 3 (Q_{80C}= 16,80 m³/s)

Obras Proyectadas	Caudal de Diseño (m³/s)				
	1	2	3	4	5
Obras de Toma y Limpieza					
Canal de Acceso	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80
Bocatoma Unificada	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80
Desarenador	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80
Obras de Trazado en Canal Arriba de Catemu					
Canal Unificado	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80
Canal Arriba de Catemu	4,00	4,00	-	4,00	4,00
Ampliación y Proyección de Túneles					
Ampliación Túnel 1 Km 5,50	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80
Ampliación Túnel 2 Km 15,80	-	4,00	-	16,80	4,00
Túnel Salesiano Km 13,70	4,00	-	16,80	-	-
Entrega Final Canal Unificado					
Km 5,95 con o sin MCH	16,80	16,80	-	-	-
Km 15,72 con o sin MCH hasta canal Pepino	-	-	-	-	16,80
Km 16,05 con o sin MCH hasta canal Pepino	-	-	-	16,80	-
Km 17,70 con o sin MCH hasta canal Pepino	-	-	16,80	-	-
Obra de Restitución					
Canal hacia río Aconcagua Km 5,95	16,80	16,80	-	-	-
Canal hacia río Aconcagua Km 15,72	-	-	-	-	16,80
Canal hacia a estero Catemu Km 16,05	-	-	-	16,80	-
Canal hacia a estero Catemu Km 17,7	-	-	16,80	-	-
Obra de Descarga hacia Río Aconcagua					
Descarga Santa Isabel Km 1,80	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30
Descarga Las Vegas Km 5,45	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40
Descarga Puntilla Km 15,72	4,00	4,00	4,00	-	-
Cruce de Quebradas	X	X	X	X	X
Obra de Entrega de Caudal de Riego para Regantes Ubicados Antes del Fin del Canal Unificado					
Obra Entrega de caudales de riego canal Abajo de Catemu Km 13,7	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
Obra Entrega de caudales de riego Km 5,95	4,08	4,08	1,30	1,30	1,20
Abovedamiento o Entubamiento Puntilla Las Máquinas					
Canal Arriba de Catemu Km 13,70 - 15,72	-	4,00	-	16,80	16,80
Canal Arriba de Catemu Km 15,72 - 16,05	-	4,00	-	16,80	4,00
Canal Arriba de Catemu Km 16,05 - 17,70	-	4,00	-	4,00	4,00
Canal Abajo de Catemu Km 14,10 - 15,72	2,50	2,50	-	-	-
Canal Abajo de Catemu Km 15,72 - 16,05	2,50	2,50	-	-	2,50
Canal Abajo de Catemu Km 16,72 - 17,70	2,50	2,50	-	2,50	2,50
Canal Pepino Km 15,72 + 2.048 m por Pepino, P. Las Máquinas	3,00	3,00	-	-	3,00

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 4.5.2-5 se resumen la longitud de mejoramiento de canales asociada a cada alternativa.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.2-4
UBICACIÓN DE ABOVEDAMIENTO POR ALTERNATIVA

Alternativa	Canal Unificado (km)	Canal Arriba de Catemu (km)	Canal Abajo de Catemu (km)	Pepino Inicio (km)	L pepino (m)
1	-		14,1-17,5	15,75	2,048
2	-	13,7-17,5	14,1-17,5	15,75	2,048
3	-	-	-	-	
4	13,7-16,05	16,05-17,5	16,05-17,5	-	
5	13,7-15,75	15,75-17,5	15,75-17,5	15,75	2,048

Nota: El Kilometraje está respecto al trazado actual del canal Arriba de Catemu. En el caso del Pepino se da el Km de inicio y el largo del abovedamiento del canal.
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 4.5.2-5
LONGITUD DEL TIPO DE MEJORAMIENTO POR ALTERNATIVA

Alternativa	Tramo	Canal Unificado (km)	Canal Arriba de Catemu (km)	Canal Abajo de Catemu (km)	Canal Pepino (km)
1	Hormigón	3,95	-	-	-
	Mampostería	2,00	7,70	-	-
	Abovedado	-	-	5,50	2,06
2	Hormigón	3,95	-	-	-
	Mampostería	2,00	7,70	-	-
	Abovedado	-	3,80	5,50	2,06
3	Hormigón	4,00	-	-	-
	Mampostería	9,70	-	-	-
	Abovedado	-	-	-	-
4	Hormigón	4,00	-	-	-
	Mampostería	10,00	-	-	-
	Abovedado	2,00	1,50	1,45	-
5	Hormigón	4,00	-	-	-
	Mampostería	10,00	-	-	-
	Abovedado	1,75	1,75	4,00	2,06

Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Diseños Simplificados y Estimación de Inversiones Totales Para Obras de Riego

4.5.3.1. Instalación de Faenas y Obras Provisionales

Para todas las alternativas y escenarios se consideró un periodo de construcción de 12 meses, con el costo presentado en el Cuadro 4.5.3.1-1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.3.1-1
COSTO INSTALACIÓN DE FAENAS

Ítem	Descripción	Cant	Unid	P.U. ($)	Costo ($)
1	Instalación de faenas (considerando dos frentes de trabajo)	1	Gl	36.900.000	36.900.000
1.1	Recinto provisorio: oficina y taller para herramientas, enfierradura, sacos de cemento.	1000	m^2	10.000	10.000.000
1.2	Casetas cuidador	5	Unid	300.000	1.500.000
1.3	Letrina jefe de obra	2	Unid	400.000	800.000
1.4	Letrinas obreros	10	Unid	300.000	3.000.000
1.5	Excavación con maquina en material común	1000	m^3	1.600	1.600.000
1.6	Equipamiento campamento	1	Gl	20.000.000	20.000.000
2	Replanteo y control topográfico (15 días x 12 mes)	180	días	100.000	18.000.000
3	Transporte interno de materiales (2 camiones chicos) (20 días x 12 meses)	480	días	80.000	38.400.000
	Costo Directo				**93.300.000**

Fuente: Elaboración propia

4.5.3.2. Canal de Acceso y Bocatoma Unificada

Para la obtención del costo de las bocatomas se utiliza como referencia el costo de la bocatoma obtenida del estudio de Electrowatt, actualizado según el valor de la UF. Se considera la siguiente fórmula para extrapolar el costo directo, la cual es una fórmula proporcional amortiguada:

$$CD(\$) = CD_B\ (\$) \cdot \left(\frac{Q}{Q_B} \right)^{0,8}$$

Donde:

CD: Costo directo de la obra ($)
Q: Caudal de diseño (m^3/s)
Nota: El subíndice B representa el estudio de Electrowatt

Para el caso del estudio de Electrowatt, se tiene que el caudal de diseño es de 5,1 m^3/s, con un costo actualizado igual a $ 54.010.698. Por otra parte, para el nuevo caudal de diseño de 9,5 m^3/s se obtiene entonces un costo de $ 88.838.769.

4.5.3.3. Desarenador

En este caso la fórmula presentada determina el valor del costo directo en UF del desarenador, según el parámetro caudal, expresado en m^3/s.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$CD(U.F) = 2820{,}6Q^{0{,}3343}(m^3/s)$$

Aplicando la fórmula anterior se obtiene que el costo directo es igual a UF 5.983,8, o $ 130.583.648.

4.5.3.4. Construcción de Túneles

En el Cuadro 4.5.3.4-1 se presentan los costos actualizados del Túnel Salesianos y del Túnel 1.

CUADRO 4.5.3.4-1
COSTO BASE ACTUALIZADO TÚNELES SALESIANOS Y TÚNEL 1 - ESTUDIO ELECTROWATT

ítem	Descripción	Costo Base Electrowatt ($)	Costo Base Actualizado ($)
Construcción Túnel Salesianos			
1	Obras en portal de entrada	15.355.240	23.686.533
2	Obras en portal de salida	16.970.023	26.177.449
3	Excavaciones subterráneas	275.342.708	424.735.405
4	Sostenimiento de roca	164.166.447	253.238.238
	Costo Directo	471.834.418	727.837.625
	Expropiaciones	30.831.520	47.559.778
Ampliación Túnel 1			
1	Obras en portal de entrada	5.370.852	8.284.915
2	Obras en portal de salida	5.576.305	8.601.841
3	Excavaciones subterráneas	11.499.620	17.738.969
4	Sostenimiento de roca	14.946.451	23.055.947
	Costo Directo	37.393.228	57.681.672

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del Túnel Salesianos se mantiene el costo base actualizado de os ítem 1 y 2, y el costo de los ítem 3 y 4 se obtienen como el costo base actualizado del estudio de Electrowatt por la razón entre los caudales de diseño entre el prediseño actual y el realizado por Electrowatt. Lo anterior se justifica al mantener la longitud y velocidad de diseño (ver Cuadro 4.5.3.4-2).

En la Figura 4.5.4.3-1 se presenta una imagen de la sección del Túnel Salesianos diseñado por Electrowatt.

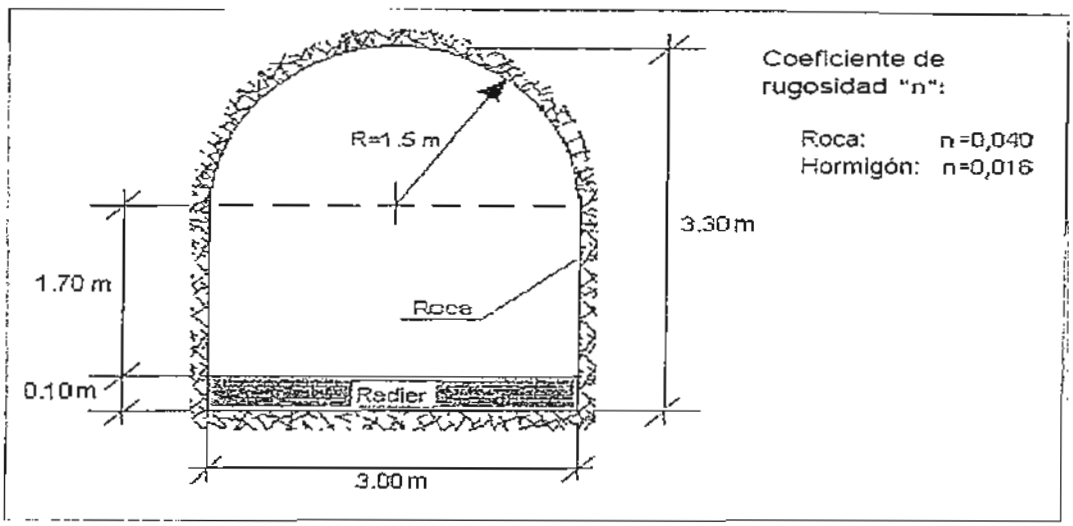
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.4.3-2
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO TÚNEL SALESIANOS

Parámetro	Unid	Diseño Electrowatt	Prediseño Arrau
Caudal de diseño	m³/s	5,5	Ver Cuadros 4.5.2-1 al 4.5.2-3
Veloc. máx diseño	m/s	1,5	1,5
Longitud	m	1.178	1.178

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.5.4.3-1
ESQUEMA TÚNEL SALESIANOS – ESTUDIO ELECTROWATT



Fuente: Estudio de Diseño Canales Catemu – Electrowatt (2000)

En el caso del Túnel 1, se costea de forma similar al Túnel Salesianos, pero en este caso el costo se amplifica por la razón entre la ampliación de los caudales entre el prediseño actual y el realizado por Electrowatt (ver Cuadro 4.5.4.3-3).

En el caso del Túnel 2, no se tienen antecedentes de diseños anteriores, por lo que se utiliza el mismo costo del Túnel 1 para los ítem 1 y 2, y el costo de los ítem 3 y 4 se obtienen por regla de 3, entre la ampliación de los caudales entre el Túnel 2 y el 1, considerando también la diferencia entre la longitud de sus trazados, y como precio base el costo base actualizado del Túnel 1 del estudio de Electrowatt (ver Cuadro 4.5.4.3-4).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.4.3-3
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO TÚNEL 1

Parámetro	Unid	Diseño Electrowatt	Prediseño Arrau
Capacidad actual	m^3/s	2,7	2,7
Caudal de diseño	m^3/s	5,5	Ver Cuadros 4.5.2-1 al 4.5.2-3
Longitud	m	131	131

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 4.5.4.3-4
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO TÚNEL 2

Parámetro	Unid	Prediseño Arrau
Capacidad actual	m^3/s	2,7
Caudal de diseño	m^3/s	Ver Cuadros 4.5.2-1 al 4.5.2-3
Longitud	m	140

Fuente: Elaboración propia

4.5.3.5. Prediseño de Canales

a) *Materiales de Revestimiento y Secciones*

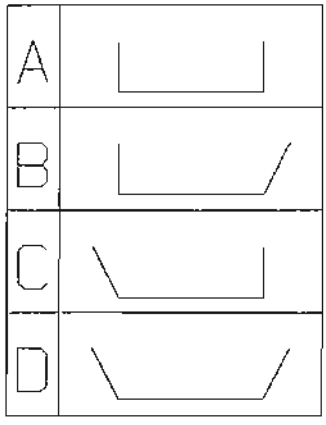
Los ítems del presupuesto referentes al revestimiento de los canales corresponden a:

- Emplantillado
- Hormigón H-25 C/Moldaje (para abovedamiento y sectores con canal abierto con talud vertical)
- Enfierradura A63-42H
- Albañilería de piedra (canal abierto con sección trapezoidal)

En la Figura 4.5.3.5-1 se presentan las secciones tipo de los canales considerados, y en el Cuadro 4.5.3.5-1 se presenta su ubicación con respecto al kilometraje del Canal Unificado. Adicionalmente en el Cuadro 4.5.3.5-2 se presenta el ancho basal adoptado.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.5.3.5-1
SECCIONES TIPO CANALES MATRICES



Fuente: Elaboración propia

CUADRO 4.5.3.5-1
SECCIONES TIPO POR KM DE CANALES MATRICES

Tramo (Km)	Tipo	Taludes (H/V)
0,00 - 0,05	A	0
0,05 - 0,10	B	1/2
0,10 - 0,15	D	1/2
0,20 - 0,25	B	1/2
0,25 - 0,56	B	1/2
0,56 - 0,70	B	1/2
0,70 - 2,45	B	1/2
2,45 - 2,79	D	1/2
2,80 - 4,40	C	1/2
4,40 - 5,21	D	1/2
5,21 - 5,31	C	1/2
5,31 - 5,40	D	1/2
5,40 - 5,50	C	1/2
5,65 - 5,74	A	0
5,74 - 9,74	D	1/2
9,74 - 9,84	A	0
9,84 - 10,50	D	1/2
10,50 - 11,70	D	1/2
11,70 - 11,81	C	1/2
11,80 - 12,90	D	1/2
12,90 - 13,15	B	1/2
13,50 - 15,80	D	1/2
15,80 - 18,00	D	4/5

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5323 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.3.5-2
ADOPCIÓN DE ANCHO BASAL POR KM DE CANAL CANALES MATRICES

Caudal (m^3/s)		Ancho Basal
desde	hasta	(m)
0	2	1,50
2	5	2,00
5	8	2,50
8	11	3,00
11	14	3,50
14	17	4,00

Fuente: Elaboración propia

b) ***Taludes Adoptados Para el Prediseño***

En base a los antecedentes y estudios anteriores sobre la zona, se han determinado los siguientes taludes:

- Para las secciones A se ha utilizado un talud vertical H:V = 0. Debido a que en las zonas donde se ocuparía la sección A estaría compuesta de roca, la cual genera más estabilidad de la ladera del canal.

- Para las secciones B, C, D en sus costados diagonales se ha utilizado un talud de H:V=1/2, debido a las características de mecánica de suelos de la zona.

c) ***Espesores de Muros Utilizados***

Se ha utilizado para los muros de hormigón armado de los canales el criterio presentado en la publicación "Design of small canal structures, Bureau of Reclamation" el cual establece en el Capítulo 1-18, (c) "minimum wall thickness", que el espesor del muro debería ser de una pulgada por pie de alto, mínimo cinco pulgadas.

Para el caso de la mampostería se ha utilizado un espesor de 0,2 m a modo de poder obtener la cubicación de la cantidad de material a utilizar, ya que el espesor real es muy irregular debido a las características y condiciones de instalación que ésta tiene.

d) ***Emplantillado para Canales de Hormigón Armado***

Se ha utilizado un emplantillado con hormigón pobre de 0,05 m de espesor en toda la longitud de los canales que estén conformados por hormigón armado y abovedamiento para emparejar e impermeabilizar el terreno.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

e) *Prediseño Hidráulico de Canales Revestidos*

En este acápite se describe el procedimiento de diseño de los canales revestidos, las condiciones de diseño, y se presentan las consideraciones adoptadas para determinar el costo del revestimiento y abovedamiento de los canales matrices.

En el Anexo 4-2 se presentan los diseños de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y del Canal Pepino, para cada alternativa y escenario de proyecto.

e.1) Procedimiento de Diseño

Para calcular las alturas de escurrimiento en el canal se utilizó la ecuación de Manning. Se utilizaron los mismos taludes del estudio de prefactibilidad realizado por Procivil de 1996. Dependiendo del tipo del tipo material.

La ecuación de Manning es:

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}} = A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

$$R = \frac{A}{P_m}$$

$$A = h_n \cdot \left(\frac{b + (b + 2 \cdot k/h_n)}{2} \right)$$

$$P_m = b + 2\sqrt{h_n^2 + \left(\frac{k}{h_n} \right)^2}$$

En que:

A	:	Área transversal de la sección mojada (m²)
i	:	Pendiente del canal (m/m)
n	:	Coeficiente de rugosidad de Manning
P_m	:	Perímetro mojado (m), corresponde al perímetro en contacto con el agua.
Q	:	Caudal de diseño (m³/s)
R	:	Radio Hidráulico (m)
b	:	Sección inferior canal (m)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

h_n : Altura para escurrimiento normal (m)
k : Talud del canal (H/V)

Es necesario tener en cuenta la altura crítica de la sección, cuya expresión se determina para Fr=1 y es la siguiente:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gd}} = 1$$

Donde:

d : Altura crítica (m)
Fr : Número de Froude (adim)
g : Aceleración de gravedad, 9,8 m/s²
v : Velocidad del escurrimiento (m/s)

Definidas las alturas de escurrimiento normal y crítico, se procede a calcular la energía asociada mediante la fórmula de Bernoulli.

$$E = h + \frac{v^2}{2g}$$

e.2) Condiciones de Diseño

Para garantizar que el flujo en un canal sea estable, es necesario garantizar que éste se encuentre suficientemente alejado de la crisis, de tal manera que no se produzcan ondulaciones que alteren el correcto funcionamiento del canal, al posibilitar la aparición de resaltos de onda. De acuerdo con lo anterior se ha considerado diseñar los canales imponiendo que el Bernoulli normal sea a lo menos un 10% superior al Bernoulli crítico, de tal forma de garantizar el escurrimiento con régimen de río:

$$\frac{E_n}{E_c} \geq 1{,}10$$

El número de Froude debe ser menor a 1, de tal forma que el escurrimiento sea en régimen subcrítico. Se deben cumplir las condiciones de velocidad presentadas en el Cuadro 4.5.3.5-3.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.3.5-3
CRITERIO DE TIPO DE MATERIAL DE CANAL

Tipo	Vmáx. (m/s)	Vmín. (m/s)	Rugosidad
Revestido	5,00	0,91	0,013
Tierra	1,52	0,91	0,035
Túnel	5,00	0,91	0,040

Fuente: Los valores de velocidad máxima y mínima, y coeficiente de rugosidad se obtuvieron de Ven Te Chow.

La revancha se determina en base a los siguientes requerimientos:

(1) $r = 0{,}15 \cdot hn$

(2) $0{,}2 < r < 0{,}5$

Donde:

$h_D = h_n + r$

En : Energía asociada al escurrimiento normal.
Ec : Energía asociada al escurrimiento crítico.
r : Revancha.
Hn : Altura normal.
h_D : Altura de diseño.

Para que se cumplan las primeras tres condiciones se probaron distintas pendientes de diseño y anchos del canal.

Al reducir las pendientes se consideraron gradas de 0,5 m de altura, y para canales sin revestir se consideró una sección de revestimiento debido a la utilización de gradas con una longitud de 15 m por grada y un espesor de 0,3 m.

Las secciones de cada tramo de canal se determinaron considerando secciones constantes, para los caudales de diseño definidos anteriormente en los Cuadros 4.5.2-1 al 4.5.2-3, según la alternativa y escenario de evaluación.

e.3) Costo del Revestimiento y Abovedamiento

Debido a los problemas de accesibilidad, los PU referentes al revestimiento y abovedamiento de los canales matrices se amplificaron por los factores presentados en el Cuadro 4.5.3.5-4.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.3.5-4
FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL COSTO
DE REVESTIMIENTO Y ABOVEDAMIENTO DE CANALES MATRICES

Canal	Factor de Amplificación
Canal Unificado y Canal del Alto	1,2
Canal Debajo de Catemu	1,1
Canal Pepino	1,0

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de canales que no son matrices no se aplicó la consideración anterior.

4.5.3.6. Movimiento de Tierras

a) *Canal Unificado y Arriba de Catemu*

Las consideraciones generales referentes a los taludes de corte se obtuvieron del estudio de prefactibilidad:

- Desde la bocatoma hasta el Km 14, se considera un talud de corte H:V=1:2.
- Desde el Km 14 al 18 se considera un talud de corte H:V=2:3
- Para este nivel de análisis no se considera el reconocimiento de los sectores en roca donde el corte podría ser vertical, ni el reconocimiento de las alturas de corte mayores a 7 m, donde el talud de corte debería ser H:V=1:1.

Los volúmenes de corte para el Canal Unificado y el Canal Arriba de Catemu se obtuvieron con el módulo de Autocad llamado Civil Design, al cual se le ingresan perfiles transversales y se obtienen los volúmenes de movimiento de tierra. Las planillas de cálculo para determinar los movimientos de tierra se presentan en el Anexo 4-3, y en el Cuadro 4.5.3.6-1 se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

CUADRO 4.5.3.6-1
VOLÚMENES DE EXCAVACIÓN (M^3)
CANAL UNIFICADO Y ARRIBA DE CATEMU

Q_{BOC}=9,5 m^3/s						
Canal	Volumen de	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5
Canal Unificado	Corte	23.247	23.247	88.159	88.159	88.159
	Relleno Estr.	10.460	10.460	19.404	19.404	19.404

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.3.6-1
VOLÚMENES DE EXCAVACIÓN (M³)
CANAL UNIFICADO Y ARRIBA DE CATEMU

Arriba de Catemu	Corte	43.168	43.168	-	-	-
	Relleno Estr.	6.362	6.362	-	-	-
Abovedamiento	Corte	-	6.369	-	15.425	15.373
	Relleno Estr.	-	949	-	892	892
						Q_{BOC}=13,15 m³/s
Canal	**Volumen de**	**Alt 1**	**Alt 2**	**Alt 3**	**Alt 4**	**Alt 5**
Canal Unificado	Corte	32.073	32.073	110.502	110.502	110.502
	Relleno Estr.	14.510	14.510	26.378	26.378	26.378
Arriba de Catemu	Corte	43.168	43.168	-	-	-
	Relleno Estr.	6.399	14.51	-	-	-
Abovedamiento	Corte	-	6.369	-	20.011	19.908
	Relleno Estr.	-	949	-	891	891
						Q_{BOC}=16,8 m³/s
Canal	**Volumen de**	**Alt 1**	**Alt 2**	**Alt 3**	**Alt 4**	**Alt 5**
Canal Unificado	Corte	39.308	39.308	132.528	132.528	132.528
	Relleno Estr.	15.273	15.273	28.047	28.047	28.047
Arriba de Catemu	Corte	43.168	43.168	-	-	-
	Relleno Estr.	6.399	6.399	-	-	-
Abovedamiento	Corte	-	6.369	-	25.284	25.161
	Relleno Estr.	-	949	-	867	867

Fuente: Elaboración propia

Se asumen los siguientes porcentajes de excavación por tipo de material:

- Excavación en material común (70%)
- Excavación en roca (30%)

Estos porcentajes de se obtienen de una estimación teniendo como base la revisión de las profundidades a la que se encuentra la roca en las calicatas realizadas para los estudios anteriores.

b) *Canales Abajo de Catemu y Pepino*

Se asumió una sección de corte igual al 20% de la sección final del canal, con los siguientes porcentajes de excavación por tipo de material:

- Excavación en material común (70%)
- Excavación en roca (30%)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

c) *Descargas de Aguas Lluvias*

Se definieron 3 descargas de aguas lluvias, de forma de evitar el rebalse de los canales matrices.

Se consideran los porcentajes de excavación por tipo de material presentados en el Cuadro 4.5.3.6-2, porcentajes que se utilizan solo para el costo del movimiento de tierra de los canales, y no de las descargas a presión, ya que para estas últimas se considera que las obras y trabajos complementarios (movimiento de tierra, machones, etc.) corresponden a un porcentaje del costo del suministro y transporte de la tubería

CUADRO 4.5.3.6-2
PORCENTAJES DE MATERIAL A EXCAVAR
DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS

Descarga	Material Común %	Roca %
Santa Isabel	-	-
Sector La Vega	50	50
Sector Puntilla	80	20

Fuente: Elaboración propia

d) *Rápido de Descarga*

Se asumen los siguientes porcentajes de excavación por tipo de material:

- Excavación en material común (80%)
- Excavación en roca (20%)

4.5.3.7. Descargas de Aguas Lluvias

Para el diseño de las descargas de aguas lluvias, estas se diseñan descargando hacia el Río Aconcagua y no a los canales que existen en la actualidad, evitando la conexión y aportes de caudal y material sólido entre los canales Arriba de Catemu Abajo Catemu y Pepino..

Las descargas están compuertas por una cámara de carga y una obra de conducción (a presión y/o canal abierto sin revestir).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria cl

a) *Prediseño de Obras de Conducción*

Los criterios de diseño para los canales abiertos son los definidos anteriormente en el Acápite 4.5.3.5 letra b), y para el movimientos de tierra los definidos en el Acápite 4.5.3.6.

Los antecedentes para el diseño de las obras de conducción se presentan en el Cuadro 4.5.3.7-1, en tanto que los diseños ce las descargas a presión y con canales abiertos se presentan en los Cuadros 4.5.3.7-2, y 4.5.3.7-3, respectivamente. Por otra parte, los resultados de los diseños se presentan en los Cuadros 4.5.3.7-4, y 4.5.3.7-5.

CUADRO 4.5.3.7-1
ANTECEDENTES PARA DISEÑO DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS

Alt	Descargas	Longitud (m)	Desnivel (m)	$i_{terreno}$ (m/m)	Q_D (m³/s)	Tipo
Todas	Descarga Santa Isabel	181			3,3	Presión
Todas	Descarga Sector La Vega	75	15	0,200	5,4	Presión
	Descarga Sector La Vega	1.086	10	0,009	5,4	Canal
1 y 2	Descarga Sector Puntilla	457	97,5	0,213	4,0	Presión
	Descarga Sector Puntilla	996	6	0,006	4,0	Canal
	Descarga Sector Puntilla	1.400	2	0,001	4,0	Canal

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 4.5.3.7-2
DISEÑOS TRAMOS TUBERÍA A PRESIÓN DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS

Tramo a Presión	Longitud	Tipo Material	PN (Bar)	D (mm)	Q (m³/s)	Sección (m2)	Velocidad (m/s)	Vol Excav (m³)
Descarga Santa Isabel	181	HDPE	6	1200	3,3	1,1	2,9	912
Descarga Sector La Vega	75	HDPE	6	1600	5,4	2,0	2,7	462
Descarga Sector Puntilla	457	PRFV	10	1400	4,0	1,5	2,6	2.559

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 4.5.3.7-3
DISEÑOS TRAMOS CON CANAL ABIERTO DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS

Descarga	Longitud (m)	Q_D (m³/s)	Ancho Basal (m)	Talud (H/V)	n° Manning	H (m)	Sección (m^2)	Mov. Tierra Volumen (m³)	H.A. (m³)
Santa Isabel									
Sector La Vega	1.086	5,4	1,1	1/4	0,03	2,5	4,4	4.807	228,7
Sector Puntilla	996	4,0	1,5	1/4	0,03	1,7	3,2	3.149	59
	1.400	4,0	2,0	1/4	0,03	2,1	5,2	10.036	

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.3.7-4
RESULTADOS DE DISEÑOS TRAMOS CON TUBERÍA A PRESIÓN DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS

Ítem	Unidad	Santa Isabel	La Vega	Puntilla
Longitud	m	181	75	457
Caudal de Diseño	m³/s	3,3	5,4	4
Material		HDPE	HDPE	PRFV
DN	mm	1.200	1600	1400
PN	Bar	6	6	10

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 4.5.3.7-5
RESULTADOS DE DISEÑOS TRAMOS CON CANAL ABIERTO DESCARGAS DE AGUAS LLUVIAS

Ítem	Unidad	La Vega	Puntilla
Longitud	m	1.086	2.396
$V_{Mov\ tierra}$	m³	4.807	10.460
$V_{H.A.}$	m³	229	59

Fuente: Elaboración propia

b) *Costo de Descargas de Aguas Lluvias*

El costo directo de las cámaras de carga se determinó con las siguientes fórmulas tipo Williams:

$$CE\ (n) = 0{,}0028\ PCE\ QCG^{1{,}121}$$
$$CN\ (n) = 0{,}694\ PCN/TC\ QCG^{1{,}185}\ (0{,}8+0{,}2\ NCG)$$
$$CD\ (n) = CE\ (n) + CN\ (n)$$

Donde:

QCG : Caudal de diseño (m³/s)
NCG : Cantidad de tuberías (un)

El resto de los parámetros corresponden a consideraciones económicas, y fueron presentadas anteriormente en el Cuadro 4.5.1-4.

Para las descargas a presión, se asume que su costo está constituido solamente por los siguientes ítems:

- Suministro y transporte interno de las tuberías a presión (ver Cuadro 4.5.1-3).

- Obras complementarias: donde se asume igual al 70% del costo del suministro y transporte interno de la tubería.

Para las secciones con gradas se asumió hormigón armado H25 con una cuantía de acero de 60 kg/m³ de hormigón.

En cuanto al costo del movimiento de tierra de los canales abiertos, los volúmenes de excavación se presentan en el Cuadro 4.5.3.7-5, los porcentajes de los tipos de terreno en el Cuadro 4.5.3.6-2 y los precios unitarios en el Cuadro 4.5.1-3.

4.5.3.8. Rápido de Descarga y Canal de Restitución

Se encuentran en el sector de la mini central hidroeléctrica.

El rápido de descarga cumple la función de by-pasear a la mini central hidroeléctrica en los periodos que esta no está en uso, y el canal de restitución se utiliza como descarga de las aguas desde la mini central hidroeléctrica hacia el Río Aconcagua.

El canal de restitución se diseña de forma similar a las descargas de aguas lluvias (canal abierto, con gradas de hormigón armado). Las características de su diseño se presentan en el Cuadro 4.5.3.8-1.

CUADRO 4.5.3.8-1
DISEÑO CANALES DE RESTITUCIÓN

Alternativa	Longitud (m)	QD (m³/s)	Ancho Basal (m)	Talud (H/V)	n° Manning	H (m)	Sección (m²)	Mov. Tierra Volumen (m³)	H.A. (m³)
1 y 2	511	9,5	2,6	1/4	0,030	3,0	10,0	5.099	0
3	266	9,5	2,7	1/4	0,030	3,1	10,4	2.776	161
	282	9,5	2,2	1/4	0,030	2,6	7,5	2.105	
4	1.678	9,5	2,2	1/4	0,030	2,6	7,5	12.527	409
5	800	9,5	2,2	1/4	0,030	2,6	7,5	5.973	579
	932	9,5	2,2	1/4	0,030	2,6	7,5	6.958	
	2.126	9,5	2,5	1/4	0,030	2,9	9,2	19.646	

Fuente: Elaboración propia

a) *Costo del Rápido de Descarga*

El costo directo del rápido de descarga se determinó con las siguientes fórmulas tipo Williams:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$CE(n) = 0{,}00024\ PCE\ LR\ QR^{0{,}534}$
$CN(n) = 0{,}046\ PCN/TC\ LR\ QR^{0{,}545}$
$CD(n) = CE(n) + CN(n)$

Donde:

QR : Caudal de diseño (m^3/s)
LR : Longitud rápido de descarga (m)

El resto de los parámetros corresponden a consideraciones económicas presentadas anteriormente en el Cuadro 4.5.1-4.

c) *Costo del Canal de Restitución*

Para las secciones con gradas se asumió hormigón armado H25 con una cuantía de acero de 60 kg/m³ de hormigón. Los volúmenes de excavación y de hormigón armadc, se presentan en el Cuadro 4.5.3.8-2.

Los porcentajes de los tipos de terreno se presentan en el Acápite 4.5.3.6 y los precios unitarios en el Cuadro 4.5.1-3.

CUADRO 4.5.3.8-2
VOLÚMENES DE EXCAVACIÓN Y DE HORMIGÓN ARMADO
CANALES DE RESTITUCIÓN

Volumen	unidad	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5
$V_{Excavación}$	m^3	5.099	5.099	4.882	12.527	32.577
$V_{H.A.}$	m^3	0	0	161	409	579

Fuente: Elaboración propia

4.5.3.9. Obras Anexas

Para todas las alternativas y escenarios se consideran los costos para obras anexas al proyecto de riego mostrados en el Cuadro 4.5.3.9-1.

CUADRO 4.5.3.9-1
COSTO OBRAS ANEXAS AL PROYECTO DE RIEGO

Descripción	Cant	Unid	P.U. ($)	Costo ($)
Compuertas de Distribución Tipo Canal del Alto	86	Un.	700.000	60.200.000
Puentes de Acceso a Predios, L=7m (c/u)	7	Un.	5.500.000	38.500.000
Cruces de Quebradas	1	Gl.	34.000.000	34.000.000
Costo Directo Obras Anexas				132.700.000

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.c

4.5.3.10. Expropiaciones

Se considera un costo unitario de 10.000.00 $/ha.

Para los nuevos canales se considera una franja de excavación de 6 m de ancho, para las cámaras de carga una superficie de 0,1 ha.

En el caso del Túnel Salesianos se considera solamente la actualización del costo de la expropiación determinado en el estudio de Electrowatt ($ 47.559.778), debido a que en él no se entregan antecedentes de la superficie a expropiar.

4.5.4. Diseños Simplificados y Estimación de Inversiones Totales Para MCH

4.5.4.1. Generalidades

En el Cuadro 4.5.4.1-1 se presenta el itemizado general del presupuesto de las mini centrales hidroeléctricas.

A excepción de los ítem II.1, II.2.2, II.4 y II.5 del Cuadro 4-43, el costo de los ítem se obtuvo a través de la utilización de las fórmulas tipo Williams.

CUADRO 4.5.4.1-1
ITEMIZADO GENERAL DEL PRESUPUESTO DE LAS MCH

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
II.1.	Instalación de Faenas y Obras Provisionales
II.2	Obras Civiles
II.2.1	Cámara de Carga
II.2.2	Tubería a Presión
II.2.4	Obra Civil de Casa de Maquinas
II.2.5	Cámara Disipadora de Energía
II.3.	Suministro e Instalación de Maquinarias Para Minicentrales
II.3.1	Válvula mariposa
II.3.2	Turbina
II.3.3	Generador
II.3.4	Transformador refrigeración forzada 23 kV
II.3.5	Montaje del equipo hidroelectromecánico
II.4.	Línea de Transmisión
	Gastos Generales + Utilidades MCH y Obras Complementarias (25% + 20%)
II.5	Expropiaciones MCH

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4.5.4.2. Consideraciones Comunes para el Diseño de las MCH

Debido a que el costo de la MCH depende de una gran cantidad de parámetros de diseño que pueden variar su costo, se definieron consideraciones comunes para su pre-diseño, de forma que al cambiar de escenario el costo de la MCH para cada alternativa dependa exclusivamente de su caudal de diseño. Estas consideraciones son:

- La selección de la tubería a presión, tipo de turbina y número de turbinas debe ser la que arroje una mayor rentabilidad a largo plazo, por lo que su selección se realiza a través de un proceso iterativo
- Las pérdidas de carga por fricción se determinan mediante la fórmula de Hazen-Williams, y la pérdida de carga total se asume amplificando por 1,2 las pérdidas de carga friccionales.
- La potencia generada se determina como:

$$P_G = \eta_0 \cdot P_{Disp}$$

- Donde la P_{Disp} corresponde a la potencia disponible en la entrada a la(s) turbina(s), y n_0 a la eficiencia del sistema de generación y conducción (turbina, generador, transformador y línea de transmisión hasta el nodo de destino).
- Se asumen las siguientes eficiencias en el sistema de generación y conducción:

Eficiencia turbinación	n_T	: f(Q) (ver Cuadro 4-44)
Eficiencia generadores	n_G	: 85%
Eficiencia en transformador	n_{TRF}	: 95%
Eficiencia en la línea de transmisión	n_{LT}	: (100-L_{LT}*0, 5)%

Donde:

L_{LT}= Longitud de la línea de transmisión (km).

- La selección de la(s) turbina(s) se realiza a través del diagrama presentado en la Figura 4.5.4.2-1.

- La eficiencia de turbinación se obtiene de la aplicación de las curvas de rendimiento de turbinas en función del porcentaje del caudal nominal turbinado (ver Cuadro 4.5.4.2-1), para el tipo de turbina seleccionada, cuyas curvas fueron obtenidas como una adaptación de las curvas presentadas en la

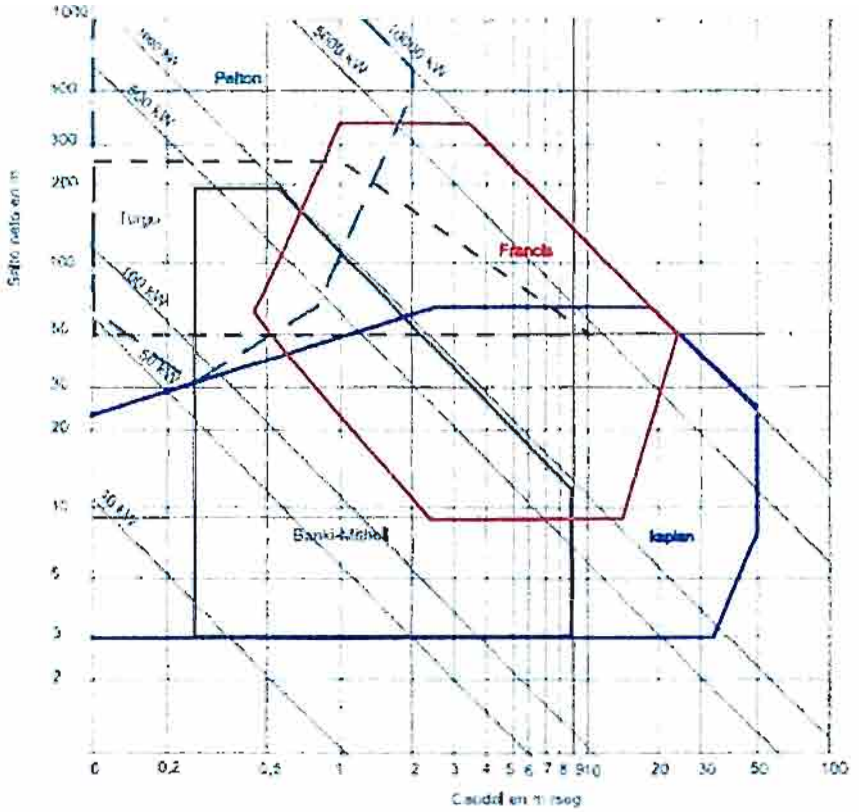
Figura 4-15. Se trabajó con la estadística de caudales medios mensuales turbinados, por lo que se obtuvo una estadistica de eficiencias de turbinación.

CUADRO 4.5.4.2-1
ADAPTACIÓN DE CURVAS DE RENDIMIENTO DE TURBINAS
EN FUNCIÓN DEL CAUDAL

Tipo de Turbina	Función de Curva de Rendimiento
Francis	$n_T = -1{,}287 \cdot \%Q^2 + 1{,}87 \cdot \%Q + 0{,}233$
Semi-Kaplan	$n_T = 0{,}878 \cdot \%Q^3 - 2{,}304 \cdot \%Q^2 + 1{,}972 \cdot \%Q + 0{,}341$
Kaplan	$n_T = -3{,}700 \cdot \%Q^4 + 10{,}18 \cdot \%Q^3 - 10{,}26 \cdot \%Q^2 + 4{,}474 \cdot \%Q + 0{,}186$
Pelton	$n_T = -1{,}821 \cdot \%Q^4 + 4{,}944 \cdot \%Q^3 - 4{,}832 \cdot \%Q^2 + 2{,}003 \cdot \%Q + 0{,}584$

Nota: $\%Q = Q/Q_{nominal}$
Fuente: Elaboración propia.

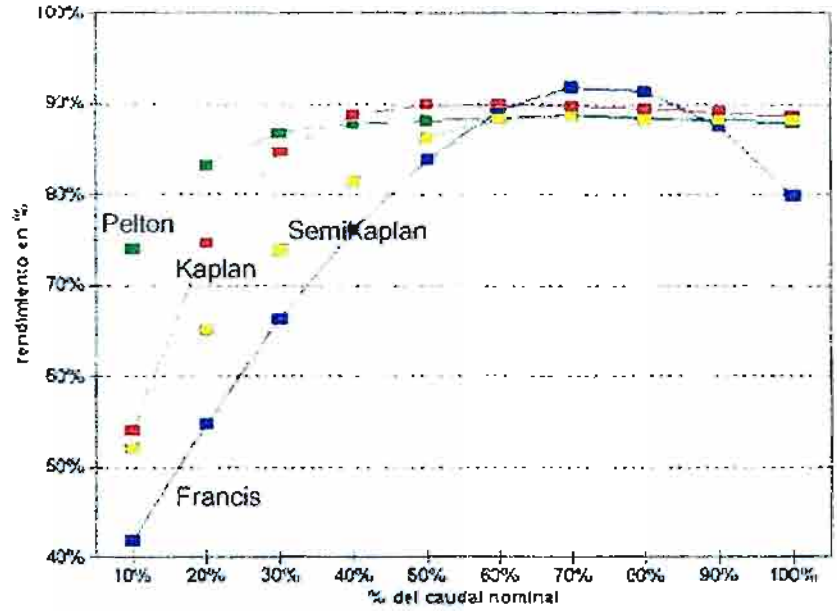
FIGURA 4.5.4.2-1
DIAGRAMA PARA SELECCIÓN DEL TIPO TURBINA



Fuente: "Manual de Pequeña Hidráulica, Como Llevar a Buen Fin un Proyecto de Minicentral Hidroeléctrica", ESHA-Comisión Europea (1998).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.5.4.2-2
CURVAS DE RENDIMIENTO DE TURBINAS
EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DEL CAUDAL NOMINAL



Fuente: "Manual de Pequeña Hidráulica, Como Llevar a Buen Fin un Proyecto de Minicentral Hidroeléctrica", ESHA-Comisión Europea (1998).

4.5.4.3. Características Principales para el Diseño de las MCH

El diseño de las MCH se obtuvo a partir de sus características principales: caudal de diseño, altura bruta, longitud de la línea de transmisión, longitud de la tubería a presión. Estas se presentan en el Cuadro 4.5.4.3-1.

CUADRO 4.5.4.3-1
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES PARA EL DISEÑO DE LAS MCH

Alternativa	Caudal de Diseño (m³/s)			Altura Bruta (m)	Longitud Tubería a Presión (m)	Longitud Empalme Eléctrico (m)
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3			
1	9,5	13,15	16,8	26	142	7.409
2	9,5	13,15	16,8	26	142	7.409
3	9,5	13,15	16,8	69	469	2.552
4	9,5	13,15	16,8	57	118	1.072
5	9,5	13,15	16,8	66	147	1.324

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4.5.4.4. Instalación de Faenas y Obras Provisionales

Se obtiene de forma similar al itemizado presentado para las obras de riego (Acápite 4.5.3.1), con la diferencia que se considera un periodo de construcción de 5 meses.

4.5.4.5. Estimación de Costos Con Fórmulas Tipo Williams

A continuación se presentan los componentes de las MCH cuyos costos han sido estimados con fórmulas tipo Williams, donde se presenta la ecuación utilizada y se describen los parámetros que componen dicha ecuación (los parámetros que no se describen corresponden a consideraciones económicas presentadas en el Cuadro 4-24).

a) *Cámara de Carga*

$CE(n) = 0{,}0028\ PCE\ QCG^{1{,}121}$

$CN(n) = 0{,}694\ PCN/TC\ QCG^{1{,}185}\ (0{,}8+0{,}2\ NCG)$

$CD(n) = CE(n) + CN(n)$

Donde:

QCG : Caudal de diseño (m^3/s)
NCG : Cantidad de tuberías (un)

b) *Tubería a Presión*

Para el diseño de la tubería a presión se consideraron tuberías de acero, cuyo costo directo se estimó a través de la curva presentada en la Figura 4.5.4.5-1.

$CD = 258{,}3\ DTUB - 41352$

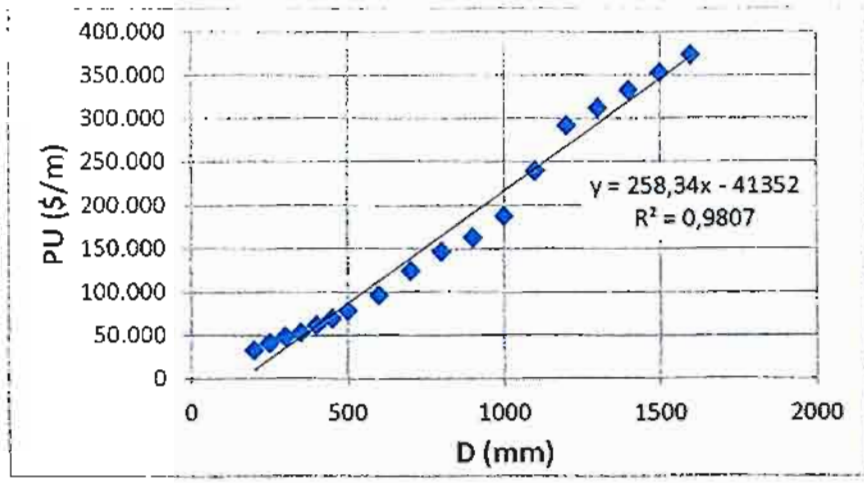
Donde:

DTUB : Diámetro interior de la tubería de acero (mm)

Además se consideró un costo debido a obras complementarias igual al 70% del costo del suministro y transporte interno tubería.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.5.4.5-1
ADOPCIÓN DE CURVA DE PRECIO UNITARIO
SUMINISTRO Y TRANSPORTE INTERNO DE TUBERÍAS DE ACERO



Fuente: Elaboración propia

c) *Obra Civil Casa de Maquinas*

$$CD\ (miles\ US\$) = 11{,}313\ X^{0{,}5896}$$
$$X = Q\ He^{2/3}\ n^{1/2}$$

Donde

Q : Caudal de diseño (m³/s)
He: Caída efectiva (m)
N : Número de turbinas (un)

d) *Cámara Disipadora de Energía*

$$CE\ (n) = 0{,}0028\ PCE\ QCG^{1{,}121}\ NCD$$
$$CN\ (n) = 0{,}694\ PCN/TC\ QCG^{1{,}185}\ (0{,}8+0{,}2\ NCG)\ NCD$$
$$CD\ (n) = CE\ (n) + CN\ (n)$$

Donde

QCG : Caudal de diseño (m³/s)
NCG : Cantidad de tuberías (un)
NCD : Numero de cámaras disipadoras de energía (un)

e) ***Válvulas Mariposa***

$$CE\ (n) = 0{,}0286\ CPI\ HMA^{0{,}636}\ DMA^{1{,}272}\ NMA$$
$$CN\ (n) = 0$$
$$CD\ (n) = CE\ (n) + CN\ (n)$$

Donde

NMA : Cantidad de válvulas (un)
HMA : Carga máxima sobre la válvula (m)
DMA : Diámetro de cada válvula (m)

f) ***Turbinas***

$$CE\ (n) = 1{,}82\ PCE\ NTU1\ (PTU1/HTU1^{0{,}328})^{0{,}637}$$
$$CN\ (n) = 0$$
$$CD\ (n) = CE\ (n) + CN\ (n)$$

Donde:

NTU1 : Cantidad de unidades (un)
PTU1 : Potencia de cada turbina (MW)
HTU1 : Salto neto (m)

g) ***Generador***

$$CE\ (n) = 0{,}486\ PCE\ NUG1\ (PE1/RPM1)^{0{,}543}$$
$$CN\ (n) = 0$$
$$CD\ (n) = CE\ (n) + CN\ (n)$$

Donde:

NUG1 : Cantidad de unidades (un)
PE1 : Potencia eléctrica de c/ generador (KVA)
RPM1 : Velocidad de rotación (rpm)

h) ***Transformador Refrigeración Forzada 23 kV***

$$CE\ (n) = ,0934\ PCE\ NT\ PT$$
$$CN\ (n) = 0$$
$$CD\ (n) = CE\ (n) + CN\ (n)$$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Donde:

NT : Cantidad de transformadores (un)
PT : Potencia eléctrica c/transformador (MW)

i) *Expropiaciones*

Se considera un costo unitario de 10.000.00 $/ha, y una franja de expropiación de un ancho de 6 m para la tubería a presión. Para cada MCH se asumió una superficie de media hectárea.

4.5.5. Presupuesto de las Alternativas

En este acápite se presentan los presupuestos resumidos de todas las alternativas y los costos totales, tanto para precios privados como sociales.

En los Cuadros 4.5.5-1 al 4.5.5-5 se presentan los presupuestos en precios privados y sociales que resulta de los diseños simplificados y estimación de costos. Se asumió un factor social de 0,92 para la obtención de los costos de aquellos itemizados que tienen una componente social.

En el Cuadro 4.5.5-6 se presenta un resumen de los cuadros anteriores, con los costos en precios privados y sociales de todas las alternativas de proyecto.

En la Figura 4.5.5-1 se compara el costo total en precios privados y sociales de todas las alternativas de proyecto.

De acuerdo a la Figura 4.5.5-1, la alternativa de menor costo es la 3 sin MCH, mientras que la de mayor costo corresponde a la alternativa 5 en el escenario 3.

CUADRO 4.5.5-1
PRESUPUESTO RESUMIDO ALTERNATIVA 1
PRECIOS PRIVADOS Y SOCIALES

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRES. PRECIOS PRIVADOS (Mill $)			PRES. PRECIOS SOCIALES (Mill $)		
		Q_{80C}= 9,5	Q_{80C}= 13,15	Q_{80C}= 16,8	Q_{80C}= 9,5	Q_{80C}= 13,15	Q_{80C}= 16,8
I	OBRAS DE RIEGO MEJORAMIENTO CANALES CATEMU						
I.1.	INSTALACIÓN DE FAENAS Y OBRAS PROVISIONALES (12 meses)	93	93	93	86	86	86
I.2.	CANAL DE ACCESO Y BOCATOMA UNIFICADA (QD=Q.80C))	89	115	140	82	106	129
I.3.	DESARENADOR (INCLUYE CÁMARA DE REJAS Y EQUIPO DE LIMPIA REJAS) (QD=Q.80C))	131	146	158	120	134	145
I.4.	CONSTRUCCIÓN TUNEL SALESIANOS (KM 13,7; QD=4 m³/S)	543	543	543	500	500	500
I.5.	AUMENTO DE CAPACIDAD TÚNEL 1 (KM 5,5; QD=Q.80C))	116	169	222	107	156	205

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.5-1
PRESUPUESTO RESUMIDO ALTERNATIVA 1
PRECIOS PRIVADOS Y SOCIALES

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRES. PRECIOS PRIVADOS (Mill $)			PRES. PRECIOS SOCIALES (Mill $)		
		Q_{BOC}= 9,5	Q_{BOC}= 13,15	Q_{BOC}= 16,8	Q_{BOC}= 9,5	Q_{BOC}= 13,15	Q_{BOC}= 16,8
I.6.	CANAL UNIFICADO ARRIBA DE CATEMU (KM 0,000 - KM 5,595) (QD=Q.BOC))	1.934	2.321	2.677	1.779	2.135	2.463
I.7.	CANAL ARRIBA DE CATEMU (KM 5,595 - KM 13,700) (QD=4 m³/S)	913	914	914	840	840	840
I.8.	ABOVEDAMIENTO CANAL ABAJO DE CATEMU (4,0 km, en Sector Puntilla Las Máquinas) (QD=2,5 m³/S)	1.245	1.245	1.245	1.145	1.145	1.145
I.9.	ABOVEDAMIENTO CANAL PEPINO (2,1 km, en Sector Puntilla Las Máquinas) (QD=3 m³/S)	451	451	451	415	415	415
I.10.	DESCARGA SANTA ISABEL (KM 1,80; QD=3,3 m³/S)	134	134	134	123	123	123
I.11.	DESCARGA LA VEGA (KM 5,45; QD=5,4 m³/S)	185	185	185	170	170	170
I.12.	DESCARGA LA PUNTILLA (KM 15,72; QD=4 m³/S)	427	427	427	393	393	393
I.13.	OBRAS ANEXAS	133	133	133	122	122	122
I.14.	RÁPIDO DE DESCARGA DESDE CANAL DEL ALTO A MCH (L=142m ; QD=Q.BOC)	113	134	153	104	124	141
I.15.	CANAL DE RESTITUCIÓN Y ENTREGA A CANAL PEPINO Y CANAL ABAJO DE CATEMU (L=511m ; QD=Q.BOC)	18	23	26	17	21	26
	SUBTOTAL COSTO DIRECTO OBRAS DE RIEGO	6.524	7.033	7.503	6.003	6.470	6.903
	GASTOS GENERALES + UTILIDADES OBRAS DE RIEGO (25% + 20%)	2.936	3.165	3.376	2.701	2.912	3.106
	SUBTOTAL COSTO TOTAL OBRAS DE RIEGO	**9.460**	**10.198**	**10.880**	**8.704**	**9.382**	**10.009**
I.16.	**EXPROPIACIONES PARA OBRAS DE RIEGO**	**83**	**83**	**83**	**83**	**83**	**83**
II	**MCH (QD=Q.BOC)**						
II.1.	INSTALACIÓN DE FAENAS Y OBRAS PROVISIONALES	58	58	58	54	54	54
II.2.	OBRAS CIVILES	238	327	401	219	300	369
II.3.	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MAQUINARIAS PARA MINICENTRAL	802	1.199	1.388	802	1.199	1.388
II.4.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	167	189	212	163	185	208
	SUBTOTAL COSTO DIRECTO MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	1.265	1.773	2.059	1.238	1.738	2.018
	GASTOS GENERALES + UTILIDADES MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS (25% + 20%)	569	798	927	557	782	908
	SUBTOTAL COSTO TOTAL MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	**1.835**	**2.571**	**2.986**	**1.795**	**2.520**	**2.926**
II.5	**EXPROPIACIONES MCH**	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**
III	**EST. AMB, MEDIDAS MITIGACIÓN, REPARAC. O COMPENSACIÓN**	**226**	**255**	**277**	**210**	**238**	**259**
	COSTO TOTAL ALTERNATIVA 1	**11.610**	**13.112**	**14.231**	**10.798**	**12.229**	**13.283**

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.5-2
PRESUPUESTO RESUMIDO ALTERNATIVA 2
PRECIOS PRIVADOS Y SOCIALES

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRES. PRECIOS PRIVADOS (Mill $)			PRES. PRECIOS SOCIALES (Mill $)		
		Q_{BOC}= 9,5	Q_{BOC}= 13,15	Q_{BOC}= 16,8	Q_{BOC}= 9,5	Q_{BOC}= 13,15	Q_{BOC}= 16,8
I	OBRAS DE RIEGO MEJORAMIENTO CANALES CATEMU						
I.1.	INSTALACIÓN DE FAENAS Y OBRAS PROVISIONALES (12 meses)	93	93	93	86	86	86
I.2.	CANAL DE ACCESO Y BOCATOMA UNIFICADA (QD=Q.BOC))	89	115	140	82	106	129
I.3.	DESARENADOR (INCLUYE CÁMARA DE REJAS Y EQUIPO DE LIMPIA REJAS) (QD=Q.BOC))	131	146	158	120	134	145
I.5.	AUMENTO DE CAPACIDAD TUNEL 1 (KM 5,5; QD=Q.BOC))	116	169	222	107	156	205
I.5.	AUMENTO DE CAPACIDAD TÚNEL 2 (KM 15,8; QD=4 m³/S)	37	37	37	34	34	34
I.6.	CANAL UNIFICADO ARRIBA DE CATEMU (KM 0,000 - KM 5,595) (QD=Q.BOC))	1.966	2.354	2.710	1.809	2.165	2.493
I.7.	CANAL ARRIBA DE CATEMU (KM 5,595 - KM 13,700) (QD=4 m³/S)	2.002	2.003	2.003	1.842	1.843	1.843
I.8.	ABOVEDAMIENTO CANAL ABAJO DE CATEMU (4,0 km, en Sector Puntilla Las Máquinas) (QD=2,5 m³/S)	1.245	1.245	1.245	1.145	1.145	1.145
I.9.	ABOVEDAMIENTO CANAL PEPINO (2,1 km, en Sector Puntilla Las Máquinas) (QD=3 m³/S)	451	451	451	415	415	415
I.10.	DESCARGA SANTA ISABEL (KM 1,80; QD=3,3 m³/S)	134	134	134	123	123	123
I.11.	DESCARGA LA VEGA (KM 5,45; QD=5,4 m³/S)	185	185	185	170	170	170
I.12.	DESCARGA LA PUNTILLA (KM 15,72; QD=4 m³/S)	427	427	427	393	393	393
I.13.	OBRAS ANEXAS	133	133	133	122	122	122
I.14.	RAPIDO DE DESCARGA DESDE CANAL DEL ALTO A MCH (L=142m ; QD=Q.BOC)	113	134	153	104	124	141
I.15.	CANAL DE RESTITUCIÓN Y ENTREGA A CANAL PEPINO Y CANAL ABAJO DE CATEMU (L=511m ; QD=Q.BOC)	18	23	28	17	21	25
	SUBTOTAL COSTO DIRECTO OBRAS DE RIEGO	7.141	7.649	8.120	6.569	7.037	7.470
	GASTOS GENERALES + UTILIDADES OBRAS DE RIEGO (25% + 20%)	3.213	3.442	3.654	2.956	3.167	3.362
	SUBTOTAL COSTO TOTAL OBRAS DE RIEGO	10.354	11.091	11.774	9.526	10.204	10.832
I.16.	EXPROPIACIONES PARA OBRAS DE RIEGO	35	35	35	35	35	35
II	MCH (QD=Q.BOC)						
II.1.	INSTALACIÓN DE FAENAS Y OBRAS PROVISIONALES	58	58	58	54	54	54
II.2.	OBRAS CIVILES	238	327	401	219	300	369
II.3.	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MAQUINARIAS PARA MINICENTRAL	802	1.199	1.388	802	1.199	1.388
II.4.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	167	189	212	163	185	208
	SUBTOTAL COSTO DIRECTO MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	1.265	1.773	2.059	1.238	1.738	2.018
	GASTOS GENERALES + UTILIDADES MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS (25% + 20%)	569	798	927	557	782	908
	SUBTOTAL COSTO TOTAL MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	1.835	2.571	2.986	1.795	2.520	2.926
II.5	EXPROPIACIONES MCH	6	6	6	6	6	6
III	EST. AMB, MEDIDAS MITIGACIÓN, REPARAC. O COMPENSACIÓN	244	273	295	226	254	275
	COSTO TOTAL ALTERNATIVA 2	12.473	13.976	15.095	11.589	13.020	14.074

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 4.5.5-3
PRESUPUESTO RESUMIDO ALTERNATIVA 3
PRECIOS PRIVADOS Y SOCIALES

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRES. PRECIOS PRIVADOS (Mill $)			PRES. PRECIOS SOCIALES (Mill $)		
		Q_{BOC}= 9,5	Q_{BOC}= 13,15	Q_{BOC}= 16,8	Q_{BOC}= 9,5	Q_{BOC}= 13,15	Q_{BOC}= 16,8
I	**OBRAS DE RIEGO MEJORAMIENTO CANALES CATEMU**						
I.1.	INSTALACIÓN DE FAENAS Y OBRAS PROVISIONALES (12 meses)	93	93	93	86	86	86
I.2.	CANAL DE ACCESO Y BOCATOMA UNIFICADA (QD=Q.BOC)	89	115	140	82	106	129
I.3.	DESARENADOR (INCLUYE CÁMARA DE REJAS Y EQUIPO DE LIMPIA REJAS) (QD=Q.BOC)	131	146	158	120	134	145
I.4.	CONSTRUCCIÓN TÚNEL SALESIANOS (KM 13,7; QD=Q.BOC)	1.221	1.714	2.121	1.123	1.577	1.951
I.5.	AUMENTO DE CAPACIDAD TÚNEL 1 (KM 5,5; QD=Q.BOC)	116	169	222	107	156	205
I.6.	CANAL UNIFICADO ARRIBA DE CATEMU (KM 0,000 - KM 5,595) (QD=Q.BOC)	3.307	4.085	4.580	3.042	3.758	4.213
I.10.	DESCARGA SANTA ISABEL (KM 1,80; QD=3,3 m³/S)	134	134	134	123	123	123
I.11.	DESCARGA LA VEGA (KM 5,45; QD=5,4 m³/S)	185	185	185	170	170	170
I.12.	OBRAS DE ENTREGA A CANALES MATRICES	44	44	44	41	41	41
I.13.	OBRAS ANEXAS	133	133	133	122	122	122
I.14.	RÁPIDO DE DESCARGA DESDE CANAL DEL ALTO A MCH (L=550m ; QD=Q.BOC)	438	521	593	403	479	546
I.15.	CANAL DE RESTITUCIÓN (L=548m ; QD=Q.BOC)	50	59	68	46	55	63
	SUBTOTAL COSTO DIRECTO OBRAS DE RIEGO	5.940	7.398	8.473	5.465	6.807	7.795
	GASTOS GENERALES + UTILIDADES OBRAS DE RIEGO (25% + 20%)	2.673	3.329	3.813	2.459	3.063	3.508
	SUBTOTAL COSTO TOTAL OBRAS DE RIEGO	**8.613**	**10.728**	**12.285**	**7.924**	**9.869**	**11.302**
I.16.	**EXPROPIACIONES PARA OBRAS DE RIEGO**	**69**	**69**	**69**	**69**	**69**	**69**
II	**MCH (QD=Q.BOC)**						
II.1.	INSTALACIÓN DE FAENAS Y OBRAS PROVISIONALES	58	58	58	54	54	54
II.2.	OBRAS CIVILES	486	622	739	448	572	680
II.3.	SUMINISTRO E INSTALACION DE MAQUINARIAS PARA MINICENTRAL	1.136	1.674	1.948	1.136	1.674	1.948
II.4.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	84	99	119	82	97	116
	SUBTOTAL COSTO DIRECTO MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	1.765	2.454	2.864	1.720	2.397	2.797
	GASTOS GENERALES + UTILIDADES MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS (25% + 20%)	794	1.104	1.289	774	1.079	1.259
	SUBTOTAL COSTO TOTAL MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	**2.559**	**3.558**	**4.152**	**2.494**	**3.476**	**4.056**
II.5	**EXPROPIACIONES MCH**	**8**	**8**	**8**	**8**	**8**	**8**
III	**EST. AMB, MEDIDAS MITIGACIÓN, REPARAC. O COMPENSACIÓN**	**223**	**286**	**329**	**208**	**267**	**307**
	COSTO TOTAL ALTERNATIVA 3	**11.472**	**14.648**	**16.843**	**10.703**	**13.689**	**15.743**

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.5-4
PRESUPUESTO RESUMIDO ALTERNATIVA 4
PRECIOS PRIVADOS Y SOCIALES

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRES. PRECIOS PRIVADOS (Mill $)			PRES. PRECIOS SOCIALES (Mill $)		
		Q_{BOC}= 9,5	Q_{BOC}= 13,15	Q_{BOC}= 16,8	Q_{BOC}= 9,5	Q_{BOC}= 13,15	Q_{BOC}= 16,8
I	**OBRAS DE RIEGO MEJORAMIENTO CANALES CATEMU**						
I.1.	INSTALACIÓN DE FAENAS Y OBRAS PROVISIONALES (12 meses)	93	93	93	86	86	86
I.2.	CANAL DE ACCESO Y BOCATOMA UNIFICADA (QD=Q.BOC)	89	115	140	82	106	129
I.3.	DESARENADOR (INCLUYE CÁMARA DE REJAS Y EQUIPO DE LIMPIA REJAS) (QD=Q.BOC)	131	146	158	120	134	145
I.4.	AUMENTO DE CAPACIDAD TÚNEL 1 (KM 5,5; QD=Q.BOC)	116	169	222	107	156	205
I.5.	AUMENTO DE CAPACIDAD TÚNEL 2 (KM 15,8; QD=Q.BOC)	123	180	236	113	165	218
I.6.	CANAL UNIFICADO ARRIBA DE CATEMU (KM 0,000 - KM 5,595) (QD=Q.BOC)	4.877	5.320	6.220	4.487	4.895	5.722
I.7.	CANAL ARRIBA DE CATEMU (KM 5,595 - KM 13,700) (QD=4 m³/S)	461	462	461	424	425	424
I.8.	ABOVEDAMIENTO CANAL ABAJO DE CATEMU (4,0 km, en Sector Puntilla Las Máquinas) (QD=2,5 m³/S)	326	326	326	300	300	300
I.8.	DESCARGA SANTA ISABEL (KM 1,80; QD=3,3 m³/S)	134	134	134	123	123	123
I.9.	DESCARGA LA VEGA (KM 5,45; QD=5,4 m³/S)	185	185	185	170	170	170
I.10.	OBRAS DE ENTREGA A CANALES MATRICES	37	37	37	34	34	34
I.11.	OBRAS ANEXAS	133	133	133	122	122	122
I.12.	RÁPIDO DE DESCARGA DESDE CANAL DEL ALTO A MCH (L=118m ; QD=Q.BOC)	94	112	127	86	103	117
I.13.	CANAL DE RESTITUCIÓN (L=1678m ; QD=Q.BOC)	126	173	214	116	159	197
	SUBTOTAL COSTO DIRECTO OBRAS DE RIEGO	6.924	7.585	8.687	6.370	6.978	7.992
	GASTOS GENERALES + UTILIDADES OBRAS DE RIEGO (25% + 20%)	3.116	3.413	3.909	2.867	3.140	3.596
	SUBTOTAL COSTO TOTAL OBRAS DE RIEGO	**10.040**	**10.998**	**12.596**	**9.237**	**10.118**	**11.588**
I.14.	**EXPROPIACIONES PARA OBRAS DE RIEGO**	**25**	**25**	**25**	**25**	**25**	**25**
II	**MCH (QD=Q.BOC)**						
II.1.	INSTALACION DE FAENAS Y OBRAS PROVISIONALES	58	58	58	54	54	54
II.2.	OBRAS CIVILES	259	353	431	238	325	396
II.3.	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MAQUINARIAS PARA MINICENTRAL	1.226	1.722	1.985	1.226	1.722	1.985
II.4.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	39	44	52	39	43	51
	SUBTOTAL COSTO DIRECTO MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	1.583	2.177	2.526	1.556	2.143	2.486
	GASTOS GENERALES + UTILIDADES MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS (25% + 20%)	712	980	1.137	700	965	1.119
	SUBTOTAL COSTO TOTAL MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	**2.295**	**3.157**	**3.663**	**2.257**	**3.108**	**3.605**
II.5	**EXPROPIACIONES MCH**	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**
III	**EST. AMB, MEDIDAS MITIGACION, REPARAC. O COMPENSACION**	**247**	**283**	**325**	**230**	**265**	**304**
	COSTO TOTAL ALTERNATIVA 4	**12.613**	**14.469**	**16.615**	**11.755**	**13.521**	**15.528**

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 4.5.5-5
PRESUPUESTO RESUMIDO ALTERNATIVA 5
PRECIOS PRIVADOS Y SOCIALES

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRES. PRECIOS PRIVADOS (Mill $)			PRES. PRECIOS SOCIALES (Mill $)		
		Q_{BOC}= 9,5	Q_{BOC}= 13,15	Q_{BOC}= 16,8	Q_{BOC}= 9,5	Q_{BOC}= 13,15	Q_{BOC}= 16,8
I	OBRAS DE RIEGO MEJORAMIENTO CANALES CATEMU						
I.1.	INSTALACIÓN DE FAENAS Y OBRAS PROVISIONALES (12 meses)	93	93	93	86	86	86
I.2.	CANAL DE ACCESO Y BOCATOMA UNIFICADA (QD=Q.BOC)	89	115	140	82	106	129
I.3.	DESARENADOR (INCLUYE CÁMARA DE REJAS Y EQUIPO DE LIMPIA REJAS) (QD=Q.BOC)	131	146	158	120	134	145
I.4.	AUMENTO DE CAPACIDAD TÚNEL 1 (KM 5,5; QD=Q.BOC)	116	169	222	107	156	205
I.5.	AUMENTO DE CAPACIDAD TÚNEL 2 (KM 15,8; QD=4 m³/S)	37	37	37	34	34	34
I.6.	CANAL UNIFICADO ARRIBA DE CATEMU (KM 0,000 - KM 5,595) (QD=Q.BOC)	4.468	5.155	6.029	4.110	4.742	5.547
I.7.	CANAL ARRIBA DE CATEMU (KM 5,595 - KM 13,700) (QD=4 m³/S)	537	537	537	494	494	494
I.8.	ABOVEDAMIENTO CANAL ABAJO DE CATEMU (4,0 km, en Sector Puntilla Las Máquinas) (QD=2,5 m³/S)	905	905	905	833	833	833
I.9.	ABOVEDAMIENTO CANAL PEPINO (2,1 km, en Sector Puntilla Las Máquinas) (QD=3 m³/S)	451	451	451	415	415	415
I.10.	DESCARGA SANTA ISABEL (KM 1,80; QD=3,3 m³/S)	134	134	134	123	123	123
I.11.	DESCARGA LA VEGA (KM 5,45; QD=5,4 m³/S)	185	185	185	170	170	170
I.12.	OBRAS DE ENTREGA A CANALES MATRICES	35	35	35	32	32	32
I.13.	OBRAS ANEXAS	133	133	133	122	122	122
I.14.	RÁPIDO DE DESCARGA DESDE CANAL DEL ALTO A MCH (L=147m ; QD=9,5m³/s)	117	139	159	108	128	146
I.15.	CANAL DE RESTITUCIÓN (L=3858m ; QD=9,5m³/s)	233	305	370	214	281	341
	SUBTOTAL COSTO DIRECTO OBRAS DE RIEGO	7.664	8.540	9.590	7.051	7.857	8.822
	GASTOS GENERALES + UTILIDADES OBRAS DE RIEGO (25% + 20%)	3.449	3.843	4.315	3.173	3.536	3.970
	SUBTOTAL COSTO TOTAL OBRAS DE RIEGO	**11.113**	**12.383**	**13.905**	**10.224**	**11.392**	**12.793**
I.16.	EXPROPIACIONES PARA OBRAS DE RIEGO	38	38	38	38	38	38
II	MCH (QD=Q.BOC)						
II.1.	INSTALACIÓN DE FAENAS Y OBRAS PROVISIONALES	58	58	58	54	54	54
II.2.	OBRAS CIVILES	272	379	461	251	349	424
II.3.	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MAQUINARIAS PARA MINICENTRAL	1.199	1.815	2.093	1.199	1.815	2.093
II.4.	LINEA DE TRANSMISIÓN	47	59	71	46	58	69
	SUBTOTAL COSTO DIRECTO MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	1.577	2.312	2.683	1.549	2.276	2.640
	GASTOS GENERALES + UTILIDADES MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS (25% + 20%)	710	1.041	1.208	697	1.024	1.188
	SUBTOTAL COSTO TOTAL MCH Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	**2.286**	**3.353**	**3.891**	**2.247**	**3.300**	**3.829**
II.5	EXPROPIACIONES MCH	6	6	6	6	6	6
III	EST. AMB, MEDIDAS MITIGACIÓN, REPARAC. O COMPENSACIÓN	268	315	356	249	294	332
	COSTO TOTAL ALTERNATIVA 5	13.711	16.095	18.196	12.764	15.031	16.998

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.5-6
COSTO TOTAL ALTERNATIVAS DE PROYECTO
PRECIOS PRIVADOS Y SOCIALES

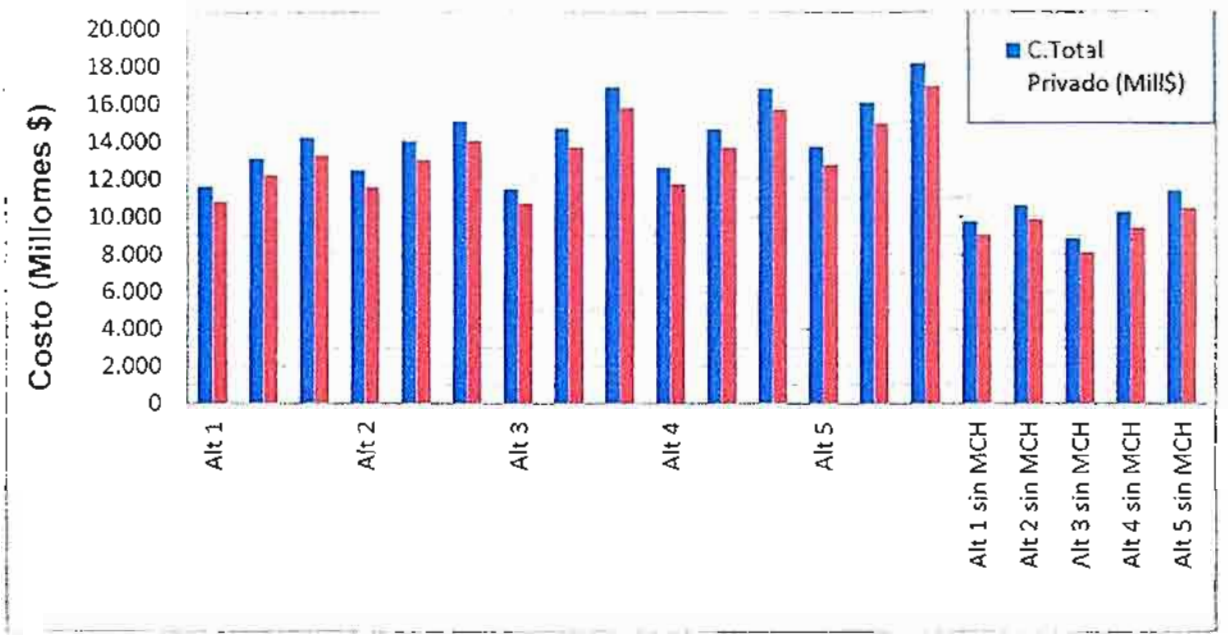
Alternativa	Q_{Boc} (m^3/s)	C.Total Privado (Mill$)	C.Total Social (Mill$)
Alt 1	9,50	11.604	10.792
	13,15	13.106	12.223
	16,80	14.225	13.277
Alt 2	9,50	12.468	11.583
	13,15	13.970	13.014
	16,80	15.090	14.068
Alt 3	9,50	11.464	10.694
	13,15	14.692	13.733
	16,80	16.894	15.794
Alt 4	9,50	12.607	11.749
	13,15	14.636	13.688
	16,80	16.808	15.720
Alt 5	9,50	13.705	12.758
	13,15	16.042	14.978
	16,80	18.136	16.938
Alt 1 sin MCH	9,50	9.732	9.064
Alt 2 sin MCH	9,50	10.596	9.855
Alt 3 sin MCH	9,50	8.811	8.111
Alt 4 sin MCH	9,50	10.266	9.447
Alt 5 sin MCH	9,50	11.373	10.467

Fuente: Elaboración propia

En las Figura 4.5.5-2 y 4.5.5-3 se comparan los costos totales de cada alternativa por escenario. Se aprecia que al cambiar el escenario la proporción entre alternativas se mantiene, salvo en la alternativa 3 que presenta un incremento mayor que las otras alternativas. Esto se debe a que el costo de la construcción de Túnel de mayores dimensiones aumenta en mayor proporción que el resto de las obras proyectadas.

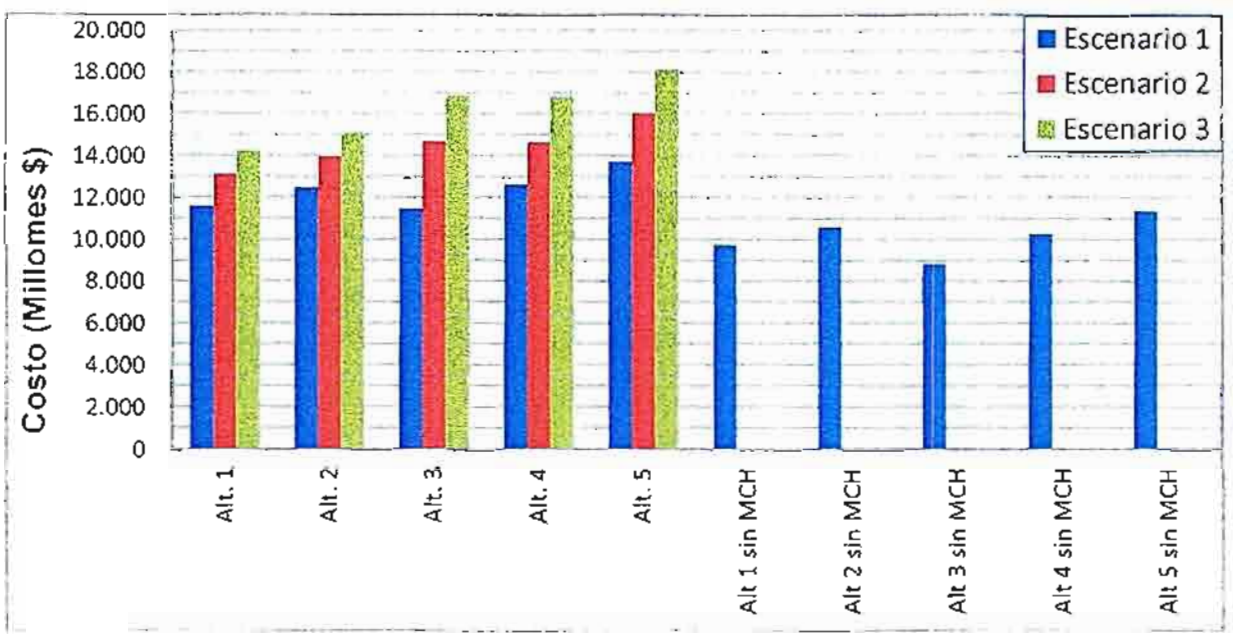
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.5.5-1
COSTO TOTAL ALTERNATIVAS EVALUADAS - PRECIOS PRIVADOS Y SOCIALES



Fuente: Elaboración propia

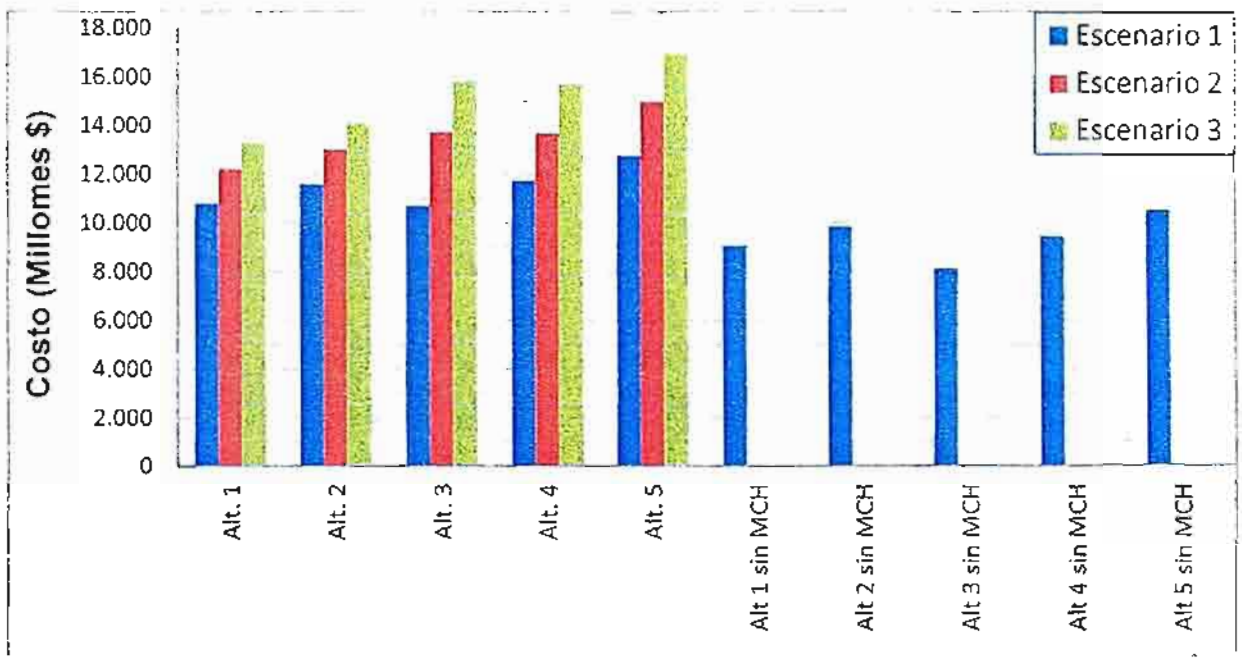
FIGURA 4.5.5-2
COMPARACIÓN DE COSTO TOTAL DE ALTERNATIVAS EVALUADAS
PRECIOS PRIVADOS



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.5.5-3
COMPARACIÓN DE COSTO TOTAL DE ALTERNATIVAS EVALUADAS
PRECIOS SOCIALES



Fuente: Elaboración propia

4.6. ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL

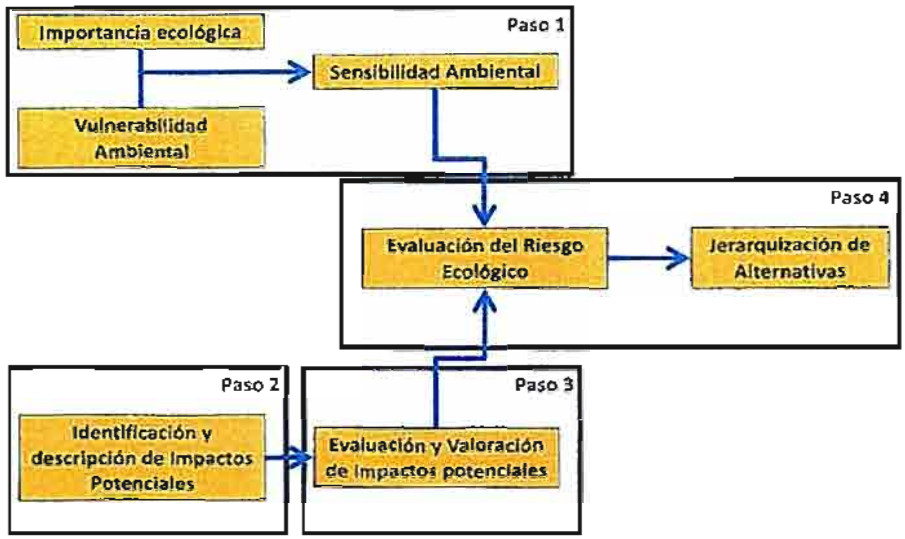
En este acápite se explica en forma resumida, los resultados de la primera etapa del Estudio de Análisis Ambiental (EAA), correspondiente al Análisis de Alternativas. Los contenidos detallados de este EAA se encuentran disponibles en el documento extenso que se adjunta como un tomo independiente al presente informe.

El objetivo del EAA fue el de jerarquizar las distintas alternativas estudiadas para poder recomendar a nivel de prefactibilidad aquella más sustentable desde la perspectiva ambiental destacando sus aspectos más relevantes, y del mismo modo realizar un análisis de pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Dado estos objetivos generales, se analizaron los impactos ambientales de aquellos componentes que se verían afectados durante las etapas de construcción y operación.

La jerarquización de las Alternativas fue llevada a cabo mediante el cálculo de un índice de Riesgo Ecológico para cada una de ellas. La Figura 4.6-1 muestra un esquema que resume el método empleado.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.6-1
ESQUEMA EMPLEADO PARA OBTENCIÓN DE RIESGO ECOLÓGICO



Fuente: Elaboración propia

El resultado de este proceso se muestra en el Cuadro 4.6-1.

CUADRO 4.6-1
CÁLCULO DE RIESGO ECOLÓGICO PARA JERARQUIZACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Componente	Sensibilidad Ambiental					Intensidad de impactos					Riesgo Ecológico				
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
Calidad del aire	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
Ruido y Vibraciones	2,50	2,50	2,25	1,75	2,00	1,60	1,40	2,03	1,85	1,75	2,05	1,95	2,14	1,80	1,88
Geomorfología	1,50	1,50	2,25	2,50	2,50	2,08	1,60	2,03	1,55	1,60	1,79	1,55	2,14	2,03	2,05
Suelos	2,00	2,00	2,00	1,50	1,50	2,08	2,00	2,10	1,76	1,90	2,04	2,00	2,05	1,63	1,70
Hidrografía e Hidrología	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
Calidad de aguas	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,90	1,70	1,90	1,70	1,70	2,45	2,35	2,45	2,35	2,35
Vegetación y flora	2,00	2,00	1,50	1,50	1,75	2,05	2,05	1,85	1,95	1,95	2,03	2,03	1,68	1,73	1,85
Fauna	2,00	2,00	1,50	1,50	1,75	1,80	1,73	1,65	1,63	1,63	1,90	1,86	1,58	1,56	1,69
Biodiversidad	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23
Social	1,00	1,00	2,50	3,00	2,50	1,50	1,50	2,05	1,50	1,50	1,25	1,25	2,28	2,25	2,00
Arqueológico	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Infraestructura vial	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,05	2,05	2,30	2,05	2,05	2,03	2,03	2,15	2,03	2,03
Edificios de interés	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,05	2,05	2,30	2,05	2,05	2,03	2,03	2,15	2,03	2,03
Riesgo Ecológico Total											1,90	1,86	1,98	1,89	1,90
Jerarquización											3°	1°	5°	2°	4°

(*) La escala de valores fluctúa entre 1 y 3, donde "1" indica la categoría "Bajo(a)", "2" indica categoría "Medio(a)" y "3" la categoría "Alto(a)"
Fuente: Elaboración propia

Debe tenerse en cuenta que el resultado de este análisis está fuertemente condicionado a la información disponible respecto de los componentes ambientales, siendo

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

en la mayorías de los casos de carácter general y obtenida a partir de recopilación bibliográfica y fuentes secundarias (principalmente para los componentes del medio biótico).

Finalmente, tal como se ve en el Cuadro 4-52, las 5 alternativas estudiadas poseen un Índice de Riesgo Ecológico cercano al nivel 2, es decir "Riesgo Medio" lo cual permite concluir que todas poseen similares características, no obstante ello, existen diferencias que permiten jerarquizar. Dado esto, y como resultado de este análisis se concluye que la Alternativa más recomendable desde la perspectiva Ambiental es la Alternativa 2, ya que es la que posee un menor índice de Riesgo Ecológico, seguida de la Alternativa 4, Alternativa 1, Alternativa 5 y Alternativa 3.

Respecto del análisis de pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), se concluye que el proyecto debe ingresar en cualquiera de sus alternativas, por ajustarse a lo indicado en el Artículo 10 de la ley 19300 y sus posteriores modificaciones (Ley 20.417) en sus letras a) y c), los cuales se detallan en el Reglamento de la misma Ley, también conocido como el Reglamento del SEIA. Dichas letras indican lo siguiente:

a) *"Acueductos, embalses o tranques y sifones que deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas..".*

   - El artículo 294 de Código de Aguas hace mención explícita a "Los acueductos que conduzcan más de 2 m^3/s" (letra b) y "Los acueductos que conduzcan más de 0.5 m^3/s, que se proyecten próximos a zonas urbanas, y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a un kilómetro y la cota de fondo sea superior a 10 metros sobre la cota de dicho límite (letra c).

b) *"Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW"*

El modo de ingreso al SEIA, ya sea como Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o Estudio de Impacto Ambiental (EIA), de acuerdo a los análisis realizados en conformidad a la Ley y las posibles consecuencias a los componentes ambientales, se define de acuerdo a lo que se detalla en el artículo 11 de la Ley 19.300 y su modificación establecida en la Ley 20.417 (el detalle de este artículo se encuentra en el informe de EAA extenso que se adjunta en esta etapa de la consultoría). En forma preliminar, se concluyó en esta Etapa (Análisis de Alternativas), que el proyecto debía ingresar al SEIA como DIA. No obstante lo antes dicho, esta última conclusión fue reevaluada por este consultor en las siguientes fases de la presente consultoría, habiéndose definido la Alternativa escogida y conociendo en mayor detalle sus obras y actividades asociadas, recomendando finalmente la realización de un EIA. Dicha recomendación se encuentra fundamentada y detallada en el Capítulo 10 del presente Informe y en el Volumen 5 (Estudio de Análisis Ambiental) de la presente Entrega.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS DE HIDROGENERACIÓN

4.7.1. Generalidades

En el Acápite 4.7 se presenta la evaluación económica de las alternativas de hidrogeneración analizadas, tanto para precios privados como para precios sociales, la cual tiene como objetivo principal *"determinar la alternativa más rentable en términos económicos"*.

Se deja en claro que "no es por ningún motivo" uno de los objetivos de esta evaluación determinar si las alternativas son económicamente factibles, lo cual permite no evaluar aquellos costos y beneficios que no aportan a la definición de la mejor alternativa.

4.7.2. Indicadores de Rentabilidad

Se utilizó como indicador de rentabilidad el Valor Actual Neto (VAN). Este indicador es comúnmente utilizado en este tipo de evaluación. Los parámetros básicos de ingreso para el cálculo de este indicador son los costos de inversión y mantenimiento, el beneficio anual esperado y las tasas de descuento, la que según MIDEPLAN es de 6% a precios sociales, para el proceso presupuestario 2012, y para precios privados se considera una tasa de descuento del 15%, basándose en la práctica usual en este tipo de proyectos. Se consideró como horizonte de evaluación un período de 30 años.

En general, el VAN se calcula con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{i=1}^{30} \left[\frac{B_i - O_i - I_i}{(1+r)^i} \right] - I$$

Donde:

VAN : Valor actual neto
B : Beneficios del proyecto
I : Inversión inicial
O_i : Operación y mantención anual al año i
I_i : Inversión anual (durante el período de construcción)
r : Tasa de descuento

4.7.3. Costos

Los costos a considerar en el análisis económico corresponden a los presentados en el Cuadro 4.7.3-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.7.3-1
COSTOS A CONSIDERAR EN LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

Descripción	Valor
Costo Total de Inversión en Obras para Riego	Ver presupuestos Cuadros 4-46 al 4-50
Costo Total de Inversión en MCH	Ver presupuestos Cuadros 4-46 al 4-50
Costo de Expropiaciones Obras para Riego	Ver presupuestos Cuadros 4-46 al 4-50
Costo de Expropiaciones para la MCH	Ver presupuestos Cuadros 4-46 al 4-50
Mantención y Operación Obras para Riego	1% del Costo Directo de las Obras para Riego
Mantención y Operación MCH	2% del Costo Directo de las Obras para la MCH
Estudio Ambiental, Medidas de Mitigación, Reparaciones o Compensación	2% del Costo Total en Obras para Riego y para MCH (Cuadro 4-46 al 4-50)

Fuente: Elaboración propia

El valor de la Unidad de Fomento (UF) está referida al 1 de Junio de 2011, donde 1UF = $ 21.811,94.

4.7.4. Beneficios

4.7.4.1. Generalidades

En este acápite se presentan y describen brevemente los beneficios considerados para la evaluación.

No se han considerado los beneficios derivados de la rentabilidad agrícola, debido a que no existe gran diferencia entre la infiltración de las alternativas analizadas, ya que el sector en análisis es el mismo para todas las alternativas, y se revisten los canales a utilizar, por lo tanto para esta etapa de análisis las rentabilidades agrícolas no influirán en la elección de la mejor alternativa, ya que las seguridades y superficies de riego serían muy similares.

Los beneficios que si aportan en gran medida a la elección de la alternativa más favorable son los derivados de la generación hidroeléctrica.

4.7.4.2. Beneficios Derivados de la Generación Hidroeléctrica

Para la evaluación de beneficios hidroeléctricos, se considera el valor de la generación anual producida por las diferentes alternativas de MCH. El precio base de la energía medio de la energía para el Sistema Interconectado Central (SIC), el que asciende a la suma de 55,36 $/kWh para el intervalo de tiempo comprendido entre los meses de Mayo

del año 2010 a Mayo del año 2011[2], y un beneficio producto de la potencia instalada de 62.820 $/kW/año.

4.7.5. Resultados y Análisis de la Evaluación Económica

En el Cuadro 4.7.5-1 se presentan los principales resultados de resultados de la evaluación de las alternativas, y el resumen de la evaluación económica para precios privados y precios sociales.

En la Figura 4.7.5-1 y 47.5-2 se presenta la variación del VAN para las distintas alternativas y escenarios analizados, a precios sociales y privados respectivamente.

[2]http://www.cne.cl/cnewww/opencms/07_Tarificacion/01_Electricidad/OTros_1/Precios_nudo/PMM/pmm_sic.html

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.7.5-1
PRINCIPALES RESULTADOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA
DE ALTERNATIVAS DE PROYECTO

						Ingreso MCH			Evaluación Privada							Evaluación Social						
													C.Mant. y Operación							C.Mant. y Operación		
Alt	Q_{Bocat} m3/s	$Q_{D.MCH}$ m3/s	P_{INST} MW	E MWh /año	FP %	E Mill$ /año	P Mill$ /año	Expropiaciones Mill$	C.Tot. Inv. Obr. Riego Mill$	C.Tot. Inv. MCH Mill$	Est. Amb, Med.Mit, Rep. o Comp. Mill$	Costo Total Mill$	Obr. Riego Mill$ /año	MCH Mill$ /año	VAN (Mill$)	C.Tot. Inv.Obr. Riego Mill$	C.Tot. Inv. MCH Mill$	Est Amb, Med.Mit, Rep. o Comp. Mill$	Costo Total Mill$	Obr. Riego Mill$ /año	MCH Mill$ /año	VAN Mill$
1	9,50	9,50	1,45	7.635	67	423	91	83	9.460	1.835	226	11.604	65	25	-8.832	8.704	1.795	210	10.792	60	25	-4.896
	13,15	13,15	2,02	9.089	57	503	127	83	10.198	2.571	255	13.106	70	35	-9.670	9.382	2.520	238	12.223	65	35	-4.927
	16,80	16,80	2,63	9.474	46	524	165	83	10.880	2.986	277	14.225	75	41	-10.468	10.009	2.926	259	13.277	69	40	-5.299
2	9,50	9,50	1,45	7.635	67	423	91	35	10.354	1.835	244	12.468	71	25	-9.737	9.526	1.795	226	11.583	66	25	-5.765
	13,15	13,15	2,02	9.089	57	503	127	35	11.091	2.571	273	13.970	76	35	-10.575	10.204	2.520	254	13.014	70	35	-5.796
	16,80	16,80	2,63	9.474	46	524	165	35	11.774	2.986	295	15.090	81	41	-11.372	10.832	2.926	275	14.068	75	40	-6.168
3	9,50	9,50	3,53	16.422	59	909	222	69	8.613	2.559	223	11.464	59	35	-4.668	7.924	2.494	208	10.694	55	34	3.641
	13,15	13,15	4,96	19.074	49	1.056	311	69	10.728	3.609	287	14.692	74	50	-6.535	9.869	3.527	268	13.733	68	49	3.474
	16,80	16,80	6,53	19.373	38	1.072	410	69	12.285	4.211	330	16.894	85	58	-8.107	11.302	4.114	308	15.794	78	57	2.749
4	9,50	9,50	4,34	18.844	55	1.043	272	25	10.040	2.295	247	12.607	69	32	-4.637	9.237	2.257	230	11.749	64	31	5.049
	13,15	13,15	6,02	21.113	44	1.169	378	25	10.998	3.327	286	14.636	76	46	-5.285	10.118	3.276	268	13.688	70	45	6.015
	16,80	16,80	7,73	20.616	34	1.141	486	25	12.596	3.859	329	16.808	87	53	-7.052	11.588	3.799	308	15.720	80	52	4.846
5	9,50	9,50	4,09	17.870	55	989	257	38	11.113	2.286	268	13.705	77	32	-6.240	10.224	2.247	249	12.758	71	31	2.991
	13,15	13,15	5,68	20.095	45	1.112	357	38	12.383	3.307	314	16.042	85	46	-7.262	11.392	3.254	293	14.978	79	45	3.539
	16,80	16,80	7,31	19.696	34	1.090	459	38	13.905	3.837	355	18.136	96	53	-8.946	12.793	3.775	331	16.938	88	52	2.451
1 sin MCH	9,50	0,00	0,00	0	0	0	0	83	9.460	0	189	9.732	65	0	-10.161	8.805	0	176	9.064	61	0	-9.900
2 sin MCH	9,50	0,00	0,00	0	0	0	0	35	10.354	0	207	10.596	71	0	-11.065	9.627	0	193	9.855	66	0	-10.769
3 sin MCH	9,50	0,00	0,00	0	0	0	0	69	8.571	0	171	8.811	59	0	-9.199	7.885	0	158	8.111	54	0	-8.860
4 sin MCH	9,50	0,00	0,00	0	0	0	0	25	10.040	0	201	10.266	69	0	-10.721	9.237	0	185	9.447	64	0	-10.324
5 sin MCH	9,50	0,00	0,00	0	0	0	0	38	11.113	0	222	11.373	77	0	-11.877	10.224	0	204	10.467	71	0	-11.437

Donde:

Q_{Bocat}: Caudal de diseño obras de captación.
$Q_{D.MCH}$: Caudal de diseño de MCH.
P_{INST} : Potencia instalada.
E : Energía Generada Anualmente.
FP : Factor de Planta (aparte se asume que el porcentaje de tiempo generado es del 90%, debido a mantenciones y reparaciones).

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.7.5-1
VARIACIÓN DEL VAN PARA DISTINTOS CAUDALES DE DISEÑO
PRECIOS PRIVADOS

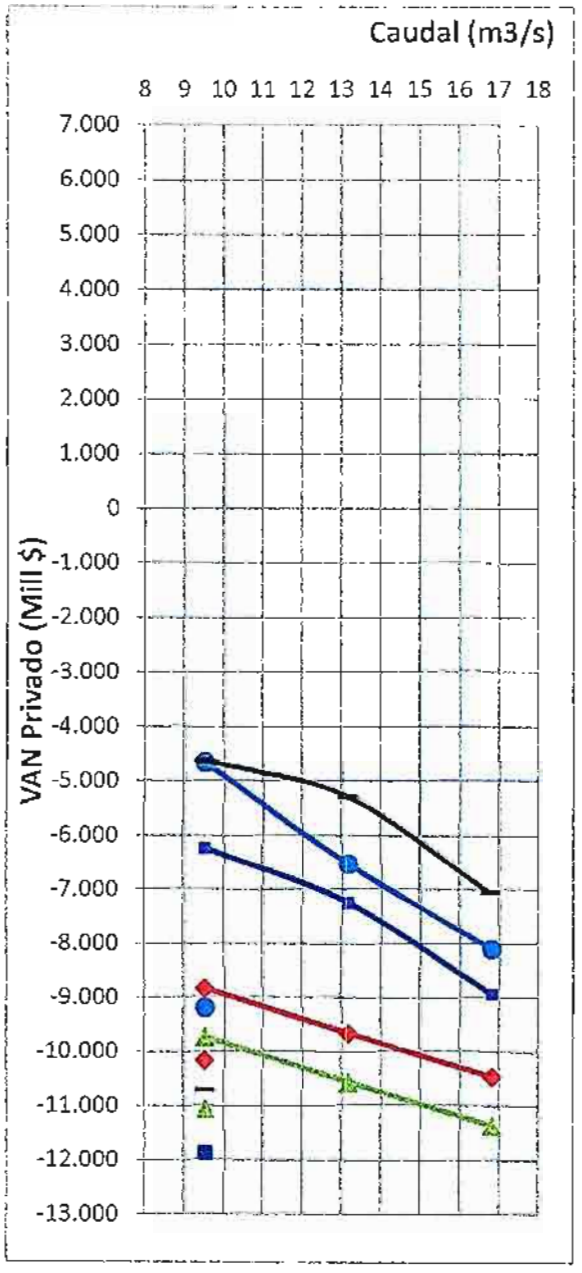
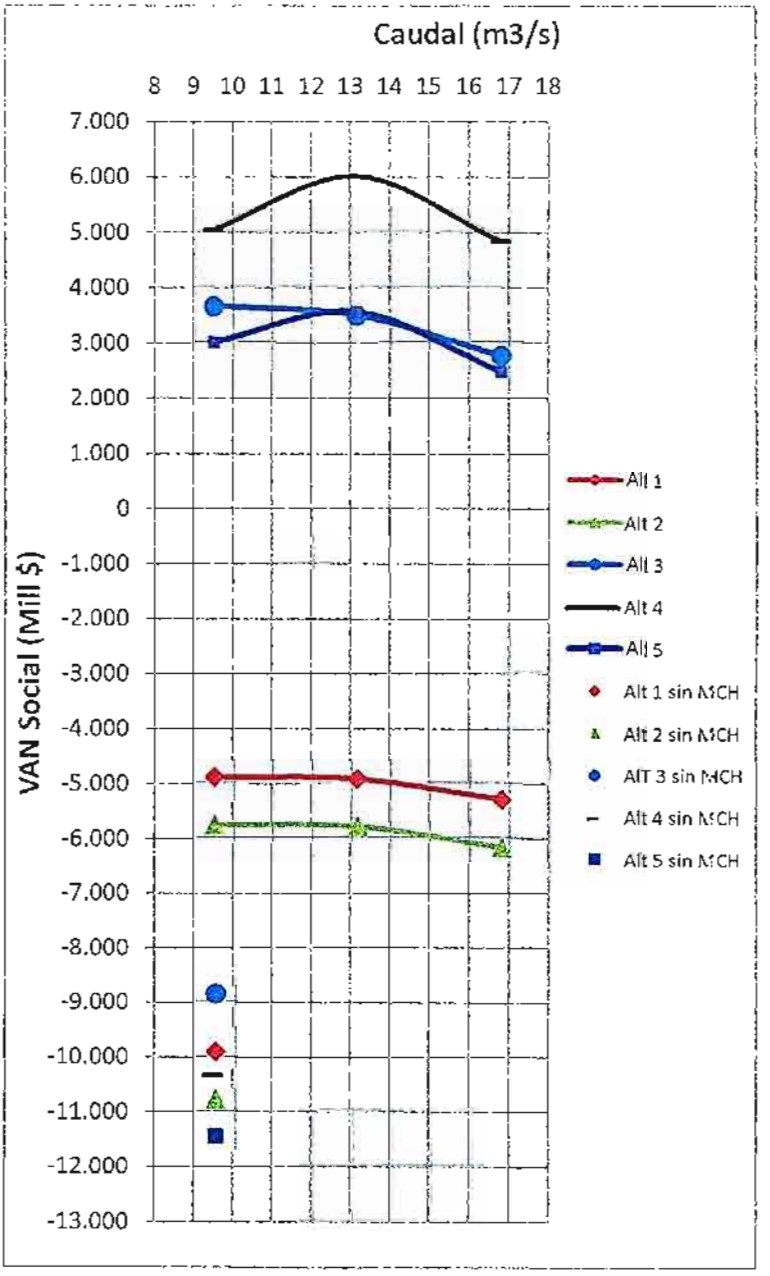


FIGURA 4.7.5-2
VARIACIÓ
N DEL VAN PARA
DISTINTOS CAUDALES DE DISEÑO
PRECIOS SOCIALES



Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Al analizar los resultados del Cuadro 4.7.5-1 y Figuras 4.7.5-1 y 4.7.5-2, se concluye que:

- Para todos los caudales analizados, las alternativas 3 (con Túnel Salesianos, MCH aguas abajo de dicho túnel), 4 (sin Túnel Salesianos, MCH después de Túnel 2), 5 (sin Túnel Salesianos, MCH antes de Túnel 2), son claramente más rentables que las alternativas 1 (con Túnel Salesianos, MCH después de Túnel 1) y 2 (sin Túnel Salesianos, MCH después de Túnel 1). Siendo la alternativa 4 la más rentable de todas, principalmente para los escenarios con caudales de diseño 13,15 m³/s y 16,8 m³/s.

- El caudal óptimo de diseño de la alternativa 4 es 13,15 m³/s, valor que será reevaluado posteriormente con el uso del modelo de simulación que se presenta en el Capítulo 6.

- Todas las alternativas sin MCH son bastante menos rentables que las alternativas con MCH. Referente a esto, llama la atención la alternativa 4, donde sin MCH ocupa la tercera posición y con MCH es la que arroja una mayor rentabilidad.

- El hecho que las alternativas sin MCH arrojen menores rentabilidades que las alternativas con MCH origina un grado de incertidumbre al momento de seleccionar la mejor alternativa, ya que si no hay una clara posibilidad de una inversión privada dispuesta a construir una central hidroeléctrica la alternativa 3 sería la más rentable. Hecho que se acrecentaría para los escenarios con mayor caudal de diseño.

- En caso que se realicen las obras de riego, la construcción de una MCH resulta muy rentable, principalmente para la alternativa 4.

En el Anexo 4-4 (Análisis de Alternativas) se presenta una planilla de cálculo llamada "Compara Eval Econ", la que extrae los resultados de las planillas de cálculo que se desarrollaron para el análisis de todas las alternativas.

4.8. RECOMENDACIÓN DE LA ALTERNATIVA A DESARROLLAR

Con el fin de recomendar la alternativa a desarrollar a nivel de prefactibilidad, se consideran los resultados de la evaluación económica y ambiental.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Desde el punto de vista ambiental, si bien es cierto es posible seleccionar la mejor alternativa, se tiene que las 5 alternativas tienen un índice de calidad cercano a 2, o sea un nivel medio. Lo anterior significa que ambientalmente la elección de la alternativa no es relevante.

Por otra parte, desde el punto de vista económico, si bien, no hay una diferencia significativa entre las alternativas de proyecto 3, 4 y 5, se obtuvieron mejores resultados en términos económicos para la Alternativa 4, esto para todos escenarios de evaluación, tanto para la evaluación privada como para la social.

Por lo anteriormente expuesto, se recomienda desarrollar a nivel de prefactibilidad la Alternativa 4, siempre y cuando haya claras posibilidades de una inversión privada dispuesta a construir una central hidroeléctrica. En caso contrario se recomienda continuar con la alternativa 3.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CAPÍTULO 5

ESTUDIO AGROECONÓMICO

5. ESTUDIO AGROECONÓMICO

5.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta un resumen de los resultados del estudio agroeconómico realizado. Los resultados completos se presentan en el Volumen 3 de este estudio.

5.2. ÁREA DE INFLUENCIA Y SECTORES DE RIEGO

El área de influencia corresponde a las zonas de riego ubicadas en el valle de Catemu y que se abastecen por los canales Arriba de Catemu; Abajo de Catemu y Pepino o Huidobro. En este sector se encuentran los predios potencialmente beneficiados por las obras de mejoramiento en conformidad con los derechos de aprovechamiento de aguas constituidos.

Dentro del área de influencia, para fines del presente estudio resulta pertinente diferenciar sectores de riego según el canal que los abastece, debido a que, dependiendo de la alternativa de obra seleccionada, los efectos en la oferta de agua podría ser distinto en cada canal. Por otra parte no existen otros factores relevantes que condicionen otro tipo de sectorización. Los tres sectores de riego corresponden.

- Sector 1: Correspondiente a la zona abastecida por el canal Catemu Del Alto.
- Sector 2: Es la zona abastecida por el canal Catemu del Bajo y sus derivados.
- Sector 3: Comprende la zona abastecida por el canal Pepino o Huidobro y sus derivados.

5.3. ASPECTOS CLIMÁTICOS

El Mapa Agroclimático de Chile (INIA, 1989) describe en términos generales para el área de estudio el dominio de un Clima Mediterráneo Subtropical Semiárido denominando el agroclima como La Ligua. Este se extiende desde el paralelo 31° hasta el 32°50'S.

Por otra parte, en 1993, el Atlas Agroclimático de Chile elaborado por la Universidad de Chile, determina la presencia de 31 distritos agroclimáticos en la Región de Valparaíso. El área de estudio se encuentra inserta en el Distrito 65.2.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El clima de este distrito está definido como Templado Mesotermal Estenotérmico Mediterráneo Semiárido. Según se observa en el Cuadro 5.3-1, su régimen térmico se caracteriza por veranos calurosos y secos e inviernos fríos, correspondiendo al clima tipo valle central, con temperaturas que varían en promedio entre una máxima en Enero de 28,2 °C y una mínima en Julio de 4.4 °C. El período libre de heladas es de 231 días, con un promedio de 11 heladas por año. Registra anualmente 1621 días grado y 1147 horas de frío. El régimen hídrico presenta una precipitación media anual de 419 mm, un déficit hídrico de 997 mm y un periodo seco de 8 meses.

CUADRO 5.3-1
VALORES MENSUALES PARÁMETROS DISTRITO AGROCLIMÁTICO 65.2

PARÁMETROS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
T° Máxima (°C)	28,2	27,3	24,7	21,3	17,8	15,3	14,4	14,9	17,2	20,6	24,3	27,2	21,1
T° Mínima (°C)	10,9	10,5	9,3	7,6	6	4,8	4,4	4,4	5,4	7	8,8	10,3	7,5
T. Media (°C)	18,7	18	16,2	13,8	11,4	9,6	9	9,2	10,8	13,2	15,8	17,9	13,6
Suma T° base 10°C. (Días Grado)	264	244	194	122	74	48	40	43	65	109	179	241	1.621
Suma T° base 10°C Acumulada (Días Grado)	857	1.101	1.295	1.417	1.491	1.538	1.578	1.621	65	174	353	593	1.621
Horas Frío (Horas)	0.0	0.0	5	30	106	233	285	275	154	48	9	0.0	1.147
Horas Frío. Acumuladas (Horas)	1.112	1.112	1.117	1.147	106	339	625	900	1.054	1.102	1.111	1.112	1.147
Radiación Solar (Ly/día)	603	575	497	391	285	207	179	207	285	391	497	575	391
Humedad Relativa (%)	63	64	68	72	77	80	81	79	76	71	67	64	72
Precipitación.(mm)	5.9	6.3	9.6	22.6	77.9	92.5	77.4	64.9	28	16.7	10	7.1	419
Evapotranspiración Potencial (mm)	182,0	171,5	142,7	103,5	64,2	35,5	25,0	35,5	64,3	103,5	142,8	171,5	1.242,0
Déficit Hídrico (mm)	-180,1	-168,9	-136,1	-82,7	0,0	0,0	0,0	0,0	-37,0	-88,7	-135,6	-168,0	-997,0
Excedente Hídrico (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	65,8	60,5	33,9	0,0	0,0	0,0	0,0	176,0
Índice Humedad (pp/etp)	0,0	0,0	0,1	0,2	1,2	2,6	3,1	1,8	0,4	0,2	0,1	0,0	0,3
N° Heladas Cobertizo 1,5 m (N°)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	2,3	3,2	3,2	1,5	0,0	0,0	0,0	11,0

Fuente: Atlas Agroclimático de Chile (Universidad de Chile, 1993)

El área de estudio, desde el punto de vista agroclimático, presenta muy buenas condiciones para el establecimiento de la mayor parte de las especies analizadas, tanto anuales como frutales.

La acumulación de días-grado en el año, un extenso periodo libre de heladas y la acumulación de horas de frío invernales suplen los requerimientos fisiológicos de todas aquellas especies que los demandan. Estas afirmaciones concuerdan con la realidad actual de la agricultura del área, donde es posible encontrar gran variedad de especies hortícolas, praderas y cultivos frutales como vides, nogales, cerezos, cítricos, paltos, arándanos, etc.

Los cultivos de especies hortícolas anuales que presentan sensibilidad a heladas como el tomate, ají, sandías y melones, pueden ser desarrollados sin problema, ya que su periodo siembra – cosecha es totalmente acomodable al periodo libre de heladas. Solo en casos particulares de frutales perennes sensibles a heladas, y que requieren prácticamente todo el año libre de ellas, la adaptabilidad es moderada. Tal es el caso del palto y las

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

clementinas, los que mejoran su adaptabilidad al establecerse huertos en lomajes para aminorar el efecto de este fenómeno climático.

En el caso específico del palto se asigna una condición de adaptabilidad moderada a la zona, ya que su implementación no presenta mayores problemas en sectores de lomajes, en especial el palto Hass. No obstante, en la parte baja del valle son severamente afectados por las heladas invernales.

5.4. ASPECTOS AGROLÓGICOS

El estudio de suelos del presente proyecto corresponde directamente al realizado por CIREN CORFO para la Región de Valparaíso el año 1997, a una escala de trabajo en terreno y presentación de 1:20.000. Este trabajo incluye el estudio agrológico y las clasificaciones interpretativas de Capacidad de Uso, Categoría de Riego, Clases de Drenaje, Aptitud Frutal, Aptitud Agrícola y Erosión Actual de los Suelos.

En el Cuadro 5.4-1 se presentan las consolidaciones de las superficies, por Clase y Sub-Clase de Capacidad de Uso de los suelos ubicados en el valle de Catemu. Como se puede apreciar un 40,5% de la superficie está ocupada con suelos de Clase de Capacidad de Uso I a VI.

Además sólo un 9,3% de los terrenos son muy apropiados para el regadío y no presentan restricciones a esta práctica (Categoría 1). Un 18,0% posee leves limitaciones, por lo que en ellos se podrían utilizar métodos tradicionales de riego con algunas prácticas de conservación, éstos se clasifican en Aptitud de Riego 2. Los pobremente adaptados al riego representan el 10,4% de los suelos, en ellos es recomendable el uso de sistemas tecnificados. En el resto de los suelos (61,0%), clasificados como muy pobremente adaptados o simplemente no aptos al riego (Categorías 4 a 6) actualmente una parte de ellos son cultivados y regados mediante sistemas presurizados. Los sectores que presentan mayores limitantes en este ámbito son el 1 y el 3, cuyas superficies clasificadas con Categoría de Riego 1 a 3 no superan el 34,3% y el 27,9%, respectivamente. En contraposición, en el Sector 2 las categorías 1 a 3 alcanzan el 85,7% de la superficie.

En términos generales, la mayor parte de los terrenos presentan buen drenaje (Categoría 5). No obstante, en el sector 3 se detecta una superficie significativa de terrenos con drenaje imperfecto o excesivo.

Con respecto a la Aptitud Frutal de los suelos, se constata que un 27,7% de la superficie total no presenta severas limitaciones al desarrollo de las especies frutales; un 35,1% presenta severas limitaciones y un 35,8% no posee aptitud frutal. El sector 1 presenta una mayor proporción de suelos sin aptitud frutal, con un 50,5% de la superficie, lo que contrasta con la realidad agrícola local, con plantaciones de uva de mesa, nogales y paltos, entre otros.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.4-1
CLASES Y SUB-CLASES DE CAPACIDAD DE USO POR SECTOR DE RIEGO

Capacidad de Uso	Superficie por Sectores de Riego (ha)			
	1	2	3	Total
I	136,1	263,7	10,4	410,2
IIs0	367,2	223,5	7,5	598,2
IIs1	8,3	0,0	0,0	8,3
IIs5	60,4	0,0	0,0	60,4
IIw2	12,6	220,0	60,1	292,7
IIe1	96,8	0,0	0,0	96,8
IIIs0	856,7	259,6	462,8	1.579,0
IIIs5	67,9	5,7	0,0	73,6
IIIs8	172,6	6,1	11,3	190,1
IIIw2	27,9	79,9	518,1	625,9
IVs0	167,2	11,5	54,3	232,9
IVw2	0,0	0,0	132,5	132,5
VIw2	10,2	0,0	0,0	10,2
VIe1	48,9	0,0	0,0	48,9
VIIs0	691,8	103,4	2.090,8	2.886,0
VIIe1	2.000,5	19,7	530,8	2.550,9
VIII	515,7	7,1	306,8	829,7
Caja de Estero	48,5	35,5	11,4	95,4
Caja de Rio	19,6	0,0	2,9	22,5
Urbano	1,6	0,0	24,0	25,6
Total General	**5.310,5**	**1.235,7**	**4.223,7**	**10.769,9**

Fuente: E aboración propia a Partir de CIREN (1997).

Al analizar la situación actual de erosión de los suelos se constata que todos los sectores presentan una parte importante de terrenos con un grado ligero de erosión, siendo en el sector 3 en donde se encuentra la menor proporción (42,2%).

5.5. CATASTRO DE REGANTES Y DERECHOS DE AGUAS

5.5.1. Listado de Agricultores y Predios

Los potenciales beneficiados por el proyecto corresponden a los miembros de las Organizaciones de Usuarios de Aguas ya descritas. En total las 3 organizaciones suman 644 regantes, los cuales se distribuyen en un total de 826 predios, algunos de los cuales pertenecen al mismo dueño. En los sectores 1, 2 y 3 existen 306, 242 y 278 predios, respectivamente.

5.6. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL AGROPECUARIA

5.6.1. Estructura de la Propiedad Agrícola

En directa relación con el acápite anterior, la siguiente estratificación predial se basa en los antecedentes entregados por las organizaciones de usuarios, la revisión en

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

terreno, el estudio "Catastro de Usuarios de Aguas de la Segunda Sección del Río Aconcagua y Canal El Melón" (DGA, 1989), los mapas de predios de CIREN-SII y los antecedentes del VII Censo Agropecuario y Forestal (2007). Los criterios utilizados para definir los estratos han sido el tamaño de la propiedad agrícola, la existencia (o ausencia) de ventas de productos de la explotación, el sustento familiar, la disponibilidad de mano de obra, la cadena de comercialización (mercado interno o exportación) y el nivel tecnológico identificado en forma preliminar.

A continuación se presentan los estratos definidos:

- **Estrato de tamaño 1:** Predios de tamaño menor o igual a 1,0 ha regadas. Corresponden generalmente a los originados por sub-divisiones de sucesión hereditaria, ubicados en las cercanías de los poblados del valle. Se caracterizan por ser predios de subsistencia porque su destino preferencial es habitacional, con una pequeña explotación agrícola, en base a huerto casero para autoconsumo o cultivo de bajo nivel tecnológico.

- **Estrato de tamaño 2:** Predios de tamaño mayor de 1,0 ha y menor o igual a 5,0 ha regadas. Corresponden a pequeños agricultores de agricultura familiar campesina, en general de bajo nivel tecnológico, en que predomina la disponibilidad de mano de obra por sobre el capital de trabajo. Generalmente, son predios con explotaciones de cultivos anuales con venta al mercado interno. En el caso de uva de mesa y paltas sus ventas son a intermediarios.

- **Estrato de tamaño 3:** Predios de tamaño mayor a 5,0 ha y menor o igual a 10,0 ha regadas. Estos predios incluyen mayoritariamente a las parcelas agrícolas con fines más comerciales que, para las condiciones del valle, podrían considerarse predios medianos si contaran con mayor seguridad de riego. Sus ventas se dirigen a mercados locales, provinciales y regionales.

- **Estrato de tamaño 4:** Predios de tamaño mayor a 10,0 ha regadas hasta 20,0 ha. Estos predios integran a los agricultores que, para las condiciones del área de estudio, podrían considerarse grandes, a pesar de estar limitados por seguridad de riego. Generalmente corresponden a explotaciones comerciales de alfalfa, paltas y vid de mesa, con una incursión en los últimos años de nogal.

- **Estrato de tamaño 5:** Predios de tamaño mayor a 20,0 ha regadas. Estos predios integran a los agricultores cuyo destino de la producción es la producción de alfalfa con alto rendimiento y la exportación directa de uva de mesa, paltas y nogales. Son predios que se considerarán como "muy grandes" y en algunos casos incluye propiedades cuya superficie de riego se ha ampliado hacia laderas con estaciones de bombeo del agua superficial.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El Cuadro 5.6.1-1 presenta la estratificación predial para el área de estudio en cuanto al número de predios y la superficie física involucrada ajustada según la expansión de la encuesta simple.

CUADRO 5.6.1-1
PREDIOS POR ESTRATO AREA DE ESTUDIO

Estrato	Predios		Superficie Física				
	N°	%	Regada	Sin Riego	Total		Promedio
			Ha	Ha	Ha	%	Ha
Sector 1							
E1(0 a 1 ha)	146	47,7	45,1	35,5	80,5	1,9	0,6
E2 (1 a 5 ha)	51	16,7	130,2	18,3	148,5	3,5	2,9
E3 (5 a 10)	63	20,6	315,1	100,2	415,3	9,7	6,6
E4 (10 a 20 ha)	32	10,5	223,7	210,9	434,6	10,2	13,6
E5 (>20 ha)	14	4,6	575,1	2.612,3	3.187,5	74,7	227,7
Total	**306**	**100,0**	**1.289,3**	**2.977,2**	**4.266,4**	**100,0**	-
Sector 2							
E1(0 a 1 ha)	68	28,1	15,7	17,9	33,6	2,0	0,5
E2 (1 a 5 ha)	73	30,2	174,5	34,5	209,0	12,5	2,9
E3 (5 a 10)	65	26,9	354,1	67,6	421,8	25,1	6,5
E4 (10 a 20 ha)	22	9,1	230,7	83,4	314,1	18,7	14,3
E5 (>20 ha)	14	5,8	315,3	384,2	699,5	41,7	50,0
Total	**242**	**100,0**	**1.090,4**	**587,6**	**1.678,0**	**100,0**	-
Sector 3							
E1(0 a 1 ha)	136	48,9	40,7	22,0	62,7	1,5	0,5
E2 (1 a 5 ha)	42	15,1	121,9	13,1	135,0	3,3	3,2
E3 (5 a 10)	66	23,7	333,4	183,1	516,5	12,5	7,8
E4 (10 a 20 ha)	25	9,0	215,8	79,5	295,3	7,1	11,8
E5 (>20 ha)	9	3,2	351,5	2.777,4	3.128,9	75,6	347,7
Total	**278**	**100,0**	**1.063,3**	**3.075,1**	**4.138,4**	**100,0**	-
Total Área de Estudio							
E1(0 a 1 ha)	350	42,4	101,5	75,3	176,8	1,8	0,5
E2 (1 a 5 ha)	166	20,1	426,6	65,9	492,5	4,9	3,0
E3 (5 a 10)	194	23,5	1.002,7	350,9	1.353,6	13,4	7,0
E4 (10 a 20 ha)	79	9,6	670,2	373,8	1.044,1	10,4	13,2
E5 (>20 ha)	37	4,5	1.241,9	5.773,9	7.015,9	69,6	189,6
Total	**826**	**100,0**	**3.442,9**	**6.639,9**	**10.082,8**	**100,0**	-

Fuente: Elaboración propia a partir de propiedades SII disponibles en mapas CIREN-CORFO

5.6.2. Encuesta Agropecuaria y Estudios de Caso

Para una completa caracterización de la situación actual agrícola es necesario establecer una serie de atributos físicos, productivos, legales y económicos, asociados a los distintos tipos de agricultores existentes en el área de estudio. Para lograr este objetivo se ha implementado una encuesta simple de tipo cuantitativa que indaga en cada uno de estos ámbitos. La encuesta abarco 200 predios de los 826 existentes, que equivalen a 6.239,4 ha (de 10.082,8 ha totales).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Luego del análisis de los resultados de la encuesta simple se realizó un estudio de caso, el que tiene por finalidad ahondar en los aspectos técnicos de los distintos rubros productivos del área de estudio, identificando en forma precisa todas las labores, insumos y productos que se obtienen en la agricultura y ganadería, y los costos asociados, para finalmente confeccionar las fichas técnico-económicas de cultivo, elementos claves para la evaluación posterior de los beneficios del proyecto. Se realizaron 29 estudios de caso que se relacionan directamente con los cultivos, contemplando los distintos niveles de rendimiento de los mismos, presentes en la zona de estudio.

5.6.3. Resultados Situación Actual Agropecuaria

La encuesta agropecuaria y los estudios de caso son la base para realizar la caracterización económica del área en estudio. Una vez que los datos fueron recopilados en terreno, se procesaron y analizaron en gabinete, con lo cual se estableció la estructura de cultivos característica de la Situación Actual Agropecuaria, que a su vez, ha servido para determinar los predios promedio para la caracterización económica (y posterior evaluación económica del proyecto). El uso del suelo de la Situacion Actual, presente en el Cuadro 5.6.3-1, se obtiene de la expansion de los resultados de la encuesta simple. También se destaca la superficie con más de un cultivo al año. En total se contemplan 3.442,9 ha (3.620,1 ha incluyendo rotación), las cuales poseen una seguridad de riego ponderada (Según superficie de los sectores del 70,77%.

Finalmente, para determinar los beneficios económicos se han calculado los costos indirectos y gastos generales para cada estrato y nivel tecnológico, abaracando diversos ambitos, tales como el pago de contribuciones, pago por servicios de mantenimientos de canales, electricidad, movilización, entre otros (Cuadro 5.6.3-2).

CUADRO 5.6.3-1
USO DEL SUELO AGRÍCOLA SITUACIÓN ACTUAL
TOTAL ÁREA DE ESTUDIO

RUBRO	CULTIVO	Total	
		ha	%
Frutales	Durazno	210,8	5,8
	Nogal	321,6	8,9
	Palto	394,7	10,9
	Uva De Mesa	572,0	15,8
	Uva Vinífera	20,4	0,6
	Huerto Frutal	63,5	1,8
	Otros Frutales	190,5	5,3
Chacras y Hortalizas	Alcachofa	106,2	2,9
	Cebolla	177,6	4,9
	Maíz Grano	110,4	3,0
	Papa	128,8	3,6
	Zanahoria	114,6	3,2
	Chacra Casera	67,9	1,9

CUADRO 5.6.3-1
USO DEL SUELO AGRÍCOLA SITUACIÓN ACTUAL
TOTAL ÁREA DE ESTUDIO

RUBRO	CULTIVO	Total	
		ha	%
	Otros Cultivos	238,6	6,6
Praderas y Forrajes	Alfalfa Autoconsumo	62,4	1,7
	Alfalfa Corte	779,3	21,5
	Pradera Natural	34,5	1,0
Forestal	Eucaliptus	26,2	0,7
Superficie Total Riego (A+B)		**3.620,1**	**100,0**
Superficie con rotación (B)		**177,2**	**4,9**
Superficie Física de Riego (A)		**3.442,9**	**95,1**
Riego Permanente Agua Superficial		3.442,9	34,1
Riego Eventual Agua Superficial		0,0	0,0
Riego Agua Subterránea		219,8	2,2
Cultivada en Secano		13,8	0,1
Forestado Sin Riego		160,6	1,6
Indirectamente Productiva		261,3	2,6
Sin uso Potencialmente Cultivable		1.061,6	10,5
Sin uso sin Potencial de Riego		4.922,9	48,8
Total Predial		**10.082,8**	**100,0**

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 5.6.3-2
COSTOS INDIRECTOS Y GASTOS GENERALES ANUALES
SITUACIÓN ACTUAL ($)

SECTOR	E1	E2	E3	E4	E5	Total
1	4.026.471	26.906.577	57.569.753	61.453.061	91.050.263	241.006.126
	4.026.471	24.687.285	49.687.312	52.651.176	71.668.902	202.721.146
2	2.779.960	37.794.707	84.882.467	44.387.477	83.823.771	253.668.382
	2.779.960	33.788.267	75.059.348	38.600.764	67.178.480	217.406.819
3	7.736.648	26.362.339	72.486.040	48.302.684	84.331.880	239.219.591
	7.736.648	24.003.009	59.958.114	40.009.627	66.832.116	198.539.514
Total	**14.543.079**	**91.063.623**	**214.938.260**	**154.143.222**	**259.205.914**	**733.894.099**
	14.543.079	**82.478.561**	**184.704.774**	**131.261.567**	**205.679.498**	**618.667.479**

Nota: Precios referidos a Julio de 2011
Fuente: Elaboración propia

5.7. SITUACIÓN FUTURA SIN PROYECTO

Con la finalidad de establecer una base de análisis en orden a reconocer los costos e ingresos de los productores(as), para la evaluación de los escenarios de desarrollo de "sin" y "con" Proyecto, se han considerado algunos aspectos que caracterizan a la

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Situación Actual para confeccionar la presente Situación Sin Proyecto (SSP), cue corresponde a un escenario futuro sin contemplar el mejoramiento de los canales, pero que incorpora un conjunto de acciones tendientes a mejorar los procesos productivos de la zona, con recursos que no superan el 5% de las inversiones efectuadas en la Situación con Proyecto.

Este proceso es planteado y desarrollado en el marco de un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica, orientado principalmente a producir cambios de conducta por parte de los agricultores, con una mayor repercusión en los de nivel tecnológico y empresarial bajo y medio.

Las modificaciones introducidas que permiten dar una explicación al uso de la tierra, la rentabilidad y supuestos, en Situación Sin Proyecto son:

- La estructura productiva del suelo no ha sufrido cambios con respecto a la Situación Actual Agropecuaria.
- Se contempla la introducción prácticas de manejo productivo corregidas de las actuales (aplicación oportuna y en dosis normalizadas de fertilizantes y pesticidas) y un uso más eficiente de la mano de obra y maquinaria.
- En los cultivos con niveles tecnológicos medios y bajos se estimó un aumento en los rendimientos por hectárea, resultado de los cambios en el manejo productivo. Estos aspectos varían dependiendo del cultivo en cuestión.
- En los rubros de uva de mesa, nogal y palto nivel alto, además cel mejoramiento del manejo productivo y el aumento de los rendimientos, la optimización se realizó en los costos, prescindiendo de algunos costos considerados no gravitantes en el rendimiento en función de mejorar los márgenes, dada la gran cantidad de insumos y aplicaciones usados en el manejo encuestado en terreno.
- Se han considerado los mismos precios unitarios de las jornadas laborales y los insumos que la Situación Actual, así como estandarizado el precio del flete por kilo de producto salvo excepciones.
- En general se normalizó el uso de mano de obra, ya que en Situación Actual el uso de este recurso en algunas labores no guarda buena relación con los estándares normales, traducido en déficit de jornadas en algunas labores como exceso en otras.
- En cuanto al riego se modificó en gran parte de los cultivos el uso de mano de obra informada en Situación Actual, suponiendo una optimización del uso del agua y de la forma de regar, resultado de los programas de transferenc a tecnológica mencionados.
- Los costos indirectos y gastos generales se mantienen invariables ccn respecto a la Situación Actual.

Mª Luise Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- En Situación Sin Proyecto no se consideran cambios importantes en los mercados de destino y sus canales de comercialización. No obstante, se prevé un mayor acceso a información de precios y mercados, debido a la capacitación contemplada en el programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica,

El uso del suelo, en estructura productiva, es el mismo identificado en la Situación Actual, manteniendo también la dinámica de doble cultivo existente. La mayor eficiencia de riego alcanzada debido a la incorporación de sistemas de riego tecnificado provoca que la seguridad de riego aumenta a 72,61%, valor que es mayo a la Situación Actual debido a la mayor eficiencia de riego.

5.8. SITUACIÓN FUTURA CON PROYECTO

5.8.1. Caracterización Productiva

La Situación Con Proyecto o Con Proyecto, corresponde al mejoramiento de las condiciones actuales que enfrenta el área en estudio, a través de la ejecución y construcción de obras civiles para aumentar la eficiencia de uso del agua y dar satisfacción a la demanda de los cultivos en los próximos años.

Este escenario, en donde se contempla un mejoramiento en la conducción de los primeros 14,0 km del canal unificado, con el complemento de un programa de asistencia técnica y capacitación, permitirá el mejoramiento del nivel tecnológico, el aumento la productividad de los predios y la rentabilidad de los rubros. El área de estudio presenta en el sector 2 (parte baja) recursos de suelo y clima, particularmente apropiados para el desarrollo de una agricultura intensiva basada en la explotación de rubros frutales y vides. El sector 1 presenta algunas dificultades microclimáticas relacionadas con los periodos de frío y las heladas que restringen la implementación de algunas especies frutales de hoja perenne, siendo esta una zona para establecer especies de hoja caduca y forrajeras preferentemente.

Expuesta la salvedad anterior, que se traduce en diferencias en la proposición final del uso del suelo Con Proyecto en cada sector, los criterios básicos que se han utilizado para las modificaciones en la estructura productiva son los siguientes:

- El uso de la tierra seguirá el mismo patrón de comportamiento por parte de los agricultores presente en la actualidad. Por lo tanto, como resultado del aumento en la seguridad de riego tendrá lugar una consolidación de los rubros más rentables, como es la fruticultura, que representa grandes ventajas comparativas en el área. En Situación Con Proyecto, el mejoramiento del primer tramo del canal unificado representa un aumento poco significativo en la seguridad de riego en el total del área de estudio, que se compone de una red de canales mucho más extensa y cuya capacidad es limitada para recibir el caudal adicional captado. Incluso el proyecto contempla una descarga al río luego de la generación eléctrica.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- En relación con lo anterior, se considera una Situación Con Proyecto con cambios menores con respecto a la Situación Sin Proyecto, tanto en el uso del suelo como en los niveles tecnológicos de los cultivos.
- Las especies frutales a implementar son las mismas que ya se encuentran actualmente en el área de estudio. Para fines de la evaluación económica, se ha considerado que las nuevas plantaciones del rubro "otros frutales" están constituidas por mandarinos, considerándolos una especie rentable bajo en marco de un mercado enfocado a la exportación y con buena adaptabilidad climática a la zona.
- Se considera un mejoramiento de la eficiencia de manejo agronómico de recursos de mano de obra, maquinaria e insumos. Como resultado de lo anterior se genera un cambio en los niveles tecnológicos de los cultivos con respecto a las Situaciones Actual y Sin Proyecto. Los cambios implementados se realizaron según la rentabilidad de cada cultivo. Es así como la mayor inversión se realiza en uva de mesa, uva pisquera, paltos, nogales y mandarinos, permitiendo el paso al nivel tecnológico inmediatamente superior. En los cultivos menos rentables las mejoras tecnológicas permiten aumentar los rendimientos, pero sus márgenes no permiten un cambio de nivel tecnológico.
- Como se comenta anteriormente el impacto esperado del proyecto no permite generar cambios sustanciales entre la Situación Sin Proyecto y Con Proyecto, en especial en cultivos de alto nivel tecnológico, como algunos frutales, donde se conservan los mismos rendimientos de Situación Sin Proyecto. Las principales medidas para generar los aumentos de rendimiento en los casos donde procede incorporación de fertilizantes fosforados, potásicos y micronutrientes (fertiriego y abonos foliares), reforzamiento de control preventivo y curativo de enfermedades, plagas y malezas y la utilización de productos reguladores de crecimiento.
- Las labores de manejo derivadas de los cambios antes mencionados, varían en directa proporción al cambio de rendimiento de cada cultivo. Además se añaden jornadas de mano de obra y maquinaria en algunas labores acorde al aumento de dosis y de productos recomendados.

Es importante señalar que para lograr estos cambios se debe considerar que:

- Existen periodos de adaptación graduales para los agricultores de especies anuales como frutícolas al nuevo escenario.
- Las organizaciones de usuarios de aguas deberán apoyar en forma participativa la redefinición de las normas de operación del sistema de riego y sus obras, con el objeto de mejorar la distribución del agua.

Los criterios de desarrollo que están presentes en la determinación de la Situación Con Proyecto se han basado íntegramente en experiencias locales y en las actuales perspectivas agroeconómicas debido al proyecto de mejoramiento y unificación de los canales

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Los principales cambios reflejados en la superficie regada de la Situación Con Proyecto son el aumento de rubros frutales, vides, alfalfa y hortalizas tipo cebolla y alcachofa. La superficie de riego se mantiene en 3.620,1 ha[1], aunque con un 89,1% de seguridad de riego ponderada (Cuadro 5.8.1-1).

Debido al cambio de estructura productiva y las mejoras en el manejo y nivel tecnológico de los cultivos, los volúmenes de producción también aumentan, tal como lo muestra el Cuadro 5.8.1-2.

CUADRO 5.8.1-1
USO DEL SUELO AGRÍCOLA SITUACIÓN CON PROYECTO. TOTAL ÁREA

RUBRO	CULTIVO	Total	
		ha	%
Frutales	Durazno	203,6	5,6
	Nogal	354,6	9,8
	Palto	398,2	11,0
	Uva De Mesa	580,0	16,0
	Uva Vinífera	0,0	0,0
	Huerto Frutal	60,2	1,7
	Otros Frutales	195,3	5,4
Chacras y Hortalizas	Alcachofa	213,2	5,9
	Cebolla	182,0	5,0
	Maíz Grano	80,9	2,2
	Papa	72,8	2,0
	Zanahoria	75,4	2,1
	Chacra Casera	65,5	1,8
	Otros Cultivos	282,0	7,8
Praderas y Forrajes	Alfalfa Autoconsumo	0,0	0,0
	Alfalfa Corte	856,4	23,7
	Pradera Natural	0,0	0,0
Forestal	Eucaliptus	0,0	0,0
Superficie Total Riego (A+B)		**3.620,1**	**100,0**
Superficie con rotación (B)		**177,2**	**4,9**
Superficie Física de Riego (A)		**3.442,9**	**95,1**
Riego Permanente Agua Superficial		3.442,9	34,1
Riego Eventual Agua Superficial		0,0	0,0
Riego Agua Subterránea		219,8	2,2
Cultivada en Secano		13,8	0,1
Forestado Sin Riego		160,6	1,6
Indirectamente Productiva		261,3	2,6
Sin uso Potencialmente Cultivable		1.061,6	10,5
Sin uso sin Potencial de Riego		4.922,9	48,8
Total Predial		**10.082,8**	**100,0**

Fuente: Elaboración propia

[1] Calculada a partir del modelo de simulación presente en el Capítulo 6, en el cual se expande la zona de estudio manteniendo la tasa ponderada de riego obtenida de la optimización de la Situación Actual.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.8.1-2
PARAMETROS DE PRODUCCIÓN
SITUACIÓN ACTUAL, SITUACIÓN SIN PROYECTO Y SITUACIÓN CON PROYECTO

Cultivo	Variedad	Nivel			Año	Unidad	SCP	SSP	SA
		SCP	SSP	SA					
Durazno	Carson	-	-	Medio	0	kg	-	-	0
Durazno	Carson	-	-	Medio	1	kg	-	-	0
Durazno	Carson	-	-	Medio	2	kg	-	-	0
Durazno	Carson	-	-	Medio	3	kg	-	-	6.000
Durazno	Carson	-	-	Medio	4	kg	-	-	12.000
Durazno	Carson	-	-	Medio	5	kg	-	-	24.000
Durazno	Carson	-	-	Medio	6 a 20	kg	-	-	42.000
Durazno	Klamt	Medio alto	Medio alto	Medio alto	0	kg	0	0	0
Durazno	Klamt	Medio alto	Medio alto	Medio alto	1	kg	0	0	0
Durazno	Klamt	Medio alto	Medio alto	Medio alto	2	kg	0	0	0
Durazno	Klamt	Medio alto	Medio alto	Medio alto	3	kg	3.571	3.571	2.857
Durazno	Klamt	Medio alto	Medio alto	Medio alto	4	kg	7.143	7.143	5.714
Durazno	Klamt	Medio alto	Medio alto	Medio alto	5	kg	14.286	14.286	11.429
Durazno	Klamt	Medio alto	Medio alto	Medio alto	6 a 20	kg	25.000	25.000	20.000
Nogal	Serr	-	-	Bajo	0	kg	-	-	0
Nogal	Serr	-	-	Bajo	1	kg	-	-	0
Nogal	Serr	-	-	Bajo	2	kg	-	-	0
Nogal	Serr	-	-	Bajo	3	kg	-	-	250
Nogal	Serr	-	-	Bajo	4	kg	-	-	1.000
Nogal	Serr	-	-	Bajo	5	kg	-	-	2.000
Nogal	Serr	-	-	Bajo	6	kg	-	-	2.587
Nogal	Serr	-	-	Bajo	7	kg	-	-	3.364
Nogal	Serr	-	-	Bajo	8 a 25	kg	-	-	3.700
Nogal	Serr y Chandler	Alto	Alto	Alto	0	kg	0	0	0
Nogal	Serr y Chandler	Alto	Alto	Alto	1	kg	0	0	0
Nogal	Serr y Chandler	Alto	Alto	Alto	2	kg	0	0	0
Nogal	Serr y Chandler	Alto	Alto	Alto	3	kg	353	343	286
Nogal	Serr y Chandler	Alto	Alto	Alto	4	kg	1.413	1.371	1.143
Nogal	Serr y Chandler	Alto	Alto	Alto	5	kg	2.825	2.743	2.286
Nogal	Serr y Chandler	Alto	Alto	Alto	6	kg	4.238	4.114	3.429
Nogal	Serr y Chandler	Alto	Alto	Alto	7	kg	6.003	5.829	4.857
Nogal	Serr y Chandler	Alto	Alto	Alto	8 a 25	kg	7.416	7.200	6.000
Palto	Hass	-	-	Bajo	0	kg	-	-	0
Palto	Hass	-	-	Bajo	1	kg	-	-	0
Palto	Hass	-	-	Bajo	2	kg	-	-	0
Palto	Hass	-	-	Bajo	3	kg	-	-	771
Palto	Hass	-	-	Bajo	4	kg	-	-	1.543
Palto	Hass	-	-	Bajo	5	kg	-	-	3.086
Palto	Hass	-	-	Bajo	6 a 20	kg	-	-	5.400
Palto	Hass	Alto	Alto	Alto	0	kg	0	0	0
Palto	Hass	Alto	Alto	Alto	1	kg	0	0	0
Palto	Hass	Alto	Alto	Alto	2	kg	0	0	0
Palto	Hass	Alto	Alto	Alto	3	kg	3.505	3.437	3.124
Palto	Hass	Alto	Alto	Alto	4	kg	7.011	6.873	6.249
Palto	Hass	Alto	Alto	Alto	5	kg	14.022	13.747	12.497
Palto	Hass	Alto	Alto	Alto	6 a 20	kg	24.538	24.057	21.870
Uva de Mesa (pasas - jugo)	Thompson	Alto	Medio Alto	Medio Alto	0	kg	0	0	0
Uva de Mesa (pasas - jugo)	Thompson	Alto	Medio Alto	Medio Alto	1	kg	0	0	0
Uva de Mesa (pasas - jugo)	Thompson	Alto	Medio Alto	Medio Alto	2	kg	3.292	3.135	2.350
Uva de Mesa (pasas - jugo)	Thompson	Alto	Medio Alto	Medio Alto	3	kg	15.362	14.630	13.300
Uva de Mesa (pasas - jugo)	Thompson	Alto	Medio Alto	Medio Alto	4	kg	26.334	25.080	22.800
Uva de Mesa (pasas - jugo)	Thompson	Alto	Medio Alto	Medio Alto	5	kg	32.918	31.350	28.500
Uva de Mesa (pasas - jugo)	Thompson	Alto	Medio Alto	Medio Alto	6	kg	39.501	37.620	34.200
Uva de Mesa (pasas - jugo)	Thompson	Alto	Medio Alto	Medio Alto	7 a 20	kg	43.890	41.800	38.000
Uva de Mesa	Thompson	Alto	Alto	Alto	0	kg	0	0	0
Uva de Mesa	Thompson	Alto	Alto	Alto	1	kg	0	0	0
Uva de Mesa	Thompson	Alto	Alto	Alto	2	kg	2.206	2.081	1.665
Uva de Mesa	Thompson	Alto	Alto	Alto	3	kg	10.292	9.710	7.768
Uva de Mesa	Thompson	Alto	Alto	Alto	4	kg	17.644	16.646	13.316

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.8.1-2
PARAMETROS DE PRODUCCIÓN
SITUACIÓN ACTUAL, SITUACIÓN SIN PROYECTO Y SITUACIÓN CON PROYECTO

Cultivo	Variedad	Nivel			Año	Unidad	SCP	SSP	SA
		SCP	SSP	SA					
Uva de Mesa	Thompson	Alto	Alto	Alto	5	kg	22.055	20.807	16.646
Uva de Mesa	Thompson	Alto	Alto	Alto	6	kg	26.466	24.968	19.975
Uva de Mesa	Thompson	Alto	Alto	Alto	7 a 20	kg	29.407	27.743	22.194
Uva Vinífera	Carmeneare	-	Medio	Medio	0	kg	-	0	0
Uva Vinífera	Carmeneare	-	Medio	Medio	1	kg	-	0	500
Uva Vinífera	Carmeneare	-	Medio	Medio	2	kg	-	1.667	1.250
Uva Vinífera	Carmeneare	-	Medio	Medio	3	kg	-	3.333	2.500
Uva Vinífera	Carmeneare	-	Medio	Medio	4	kg	-	8.000	6.000
Uva Vinífera	Carmeneare	-	Medio	Medio	5	kg	-	10.667	8.000
Uva Vinífera	Carmeneare	-	Medio	Medio	6	kg	-	14.667	11.000
Uva Vinífera	Carmeneare	-	Medio	Medio	7 a 20	kg	-	20.000	15.000
Damasco (Huerto Frutal)	-	Bajo	Bajo	Bajo	0	kg	0	0	0
Damasco (Huerto Frutal)	-	Bajo	Bajo	Bajo	1	kg	0	0	0
Damasco (Huerto Frutal)	-	Bajo	Bajo	Bajo	2	kg	0	0	0
Damasco (Huerto Frutal)	-	Bajo	Bajo	Bajo	3	kg	2.829	2.357	2.143
Damasco (Huerto Frutal)	-	Bajo	Bajo	Bajo	4	kg	5.657	4.714	4.286
Damasco (Huerto Frutal)	-	Bajo	Bajo	Bajo	5	kg	11.314	9.429	8.571
Damasco (Huerto Frutal)	-	Bajo	Bajo	Bajo	6 o más	kg	19.800	16.500	15.000
Ciruelo (Otros Frutales)	D' Angen	-	Medio Alto	Medio Alto	0	kg	-	0	0
Ciruelo (Otros Frutales)	D' Angen	-	Medio Alto	Medio Alto	1	kg	-	0	0
Ciruelo (Otros Frutales)	D' Angen	-	Medio Alto	Medio Alto	2	kg	-	0	0
Ciruelo (Otros Frutales)	D' Angen	-	Medio Alto	Medio Alto	3	kg	-	1.000	714
Ciruelo (Otros Frutales)	D' Angen	-	Medio Alto	Medio Alto	4	kg	-	2.000	1.429
Ciruelo (Otros Frutales)	D' Angen	-	Medio Alto	Medio Alto	5	kg	-	4.000	2.857
Ciruelo (Otros Frutales)	D' Angen	-	Medio Alto	Medio Alto	6 a 20	kg	-	7.000	5.000
Mandarino (Otros Frutales)	Murcott	Alto	Medio Alto	Medio Alto	0	kg	0	0	0
Mandarino (Otros Frutales)	Murcott	Alto	Medio Alto	Medio Alto	1	kg	0	0	0
Mandarino (Otros Frutales)	Murcott	Alto	Medio Alto	Medio Alto	2	kg	0	0	0
Mandarino (Otros Frutales)	Murcott	Alto	Medio Alto	Medio Alto	3	kg	3.385	3.255	2.604
Mandarino (Otros Frutales)	Murcott	Alto	Medio Alto	Medio Alto	4	kg	8.125	7.813	6.250
Mandarino (Otros Frutales)	Murcott	Alto	Medio Alto	Medio Alto	5	kg	16.250	15.625	12.500
Mandarino (Otros Frutales)	Murcott	Alto	Medio Alto	Medio Alto	6 a 25	kg	24.375	23.438	18.750
Alcachofa	Madrigal	Medio	Medio	Medio	-	unidad	68.640	57.200	52.000
Cebolla	Grano de Oro	Bajo	Bajo	Bajo	-	kg	32.603	31.050	27.000
Cebolla	Colosal, Jumbo y Medium	Alto	Alto	Alto	-	kg	80.850	77.000	70.000
Maíz grano	Pionner	Medio alto	Medio alto	Medio alto	-	qq	181	176	160
Papa	Cardinal	Bajo	Bajo	Bajo	-	qq	188	188	150
Zanahoria	Abaco	Medio	Medio	Medio	-	unidad	184.000	184.000	160.000
Cilantro (Chacra Casera)	-	Bajo	Bajo	Bajo	-	docenas	7.865	7.350	7.000
Repollo (Otros Cultivos)	Savoy Ace	Medio	Bajo	Bajo	-	unidad	25.300	18.750	15.000
Alfalfa autoconsumo	Súper Lechera	-	Bajo	Bajo	0	Fardos	-	420	420
Alfalfa autoconsumo	Súper Lechera	-	Bajo	Bajo	1 a 4	Fardos	-	600	600
Alfalfa Corte	California 55	Medio	Medio	Medio	0	Fardos	547	538	490
Alfalfa Corte	California 55	Medio	Medio	Medio	1 a 4	Fardos	786	770	700
Alfalfa Corte	WL 458 ANASAC	Alto	Alto	Alto	0	Fardos	615	671	559
Alfalfa Corte	WL 458 ANASAC	Alto	Alto	Alto	1 a 4	Fardos	880	960	800
Pradera natural	-	-	Bajo	Bajo	-	TON	-	2	2
Eucaliptus	Globulus	-	Bajo	Bajo	0	M3	-	0	0
Eucaliptus	Globulus	-	Bajo	Bajo	1	M3	-	0	0
Eucaliptus	Globulus	-	Bajo	Bajo	2	M3	-	0	0
Eucaliptus	Globulus	-	Bajo	Bajo	3 a 9	M3	-	0	0
Eucaliptus	Globulus	-	Bajo	Bajo	10	M3	-	250	250

Fuente: Elaboración propia

Los gastos indirectos generales corresponden a los mismos aspectos presentados en la Situación Actual, con un aumento porcentual dependiendo los supuestos de la Situación Con Proyecto:

- Contribuciones 0%
- Administración Mantención y arreglo de cercos y /o caminos Mantención de Construcciones: 10%
- Contabilidad, Movilización, Comunicación, Mantención de acequias y sistema de riego, Acciones de agua de riego: 20%

  Solo la limpia de canales:experimenta una disminución de un 5% debido al revestimiento del primer tramo del canal unificado.

Los gastos indirectos generales en Situación Futura se muestran en el Cuadro 5.8.1-3.

CUADRO 5.8.1-3
COSTOS INDIRECTOS Y GASTOS GENERALES ANUALES
SITUACIÓN FUTURA CON PROYECTO

SECTOR	E1	E2	E3	E4	E5	Total
1	4.684.008	31.309.006	65.630.217	69.478.132	101.655.088	272.756.452
	4.684.008	29.089.714	57.747.776	60.676.247	82.273.727	234.471.472
2	3.229.367	43.884.331	96.383.475	50.427.658	94.228.243	288.153.074
	3.229.367	39.877.891	86.560.357	44.640.945	77.582.951	251.891.511
3	9.126.597	30.517.243	82.477.718	54.400.771	94.231.652	270.753.981
	9.126.597	28.157.913	69.949.791	46.107.713	76.731.888	230.073.903
Total	17.039.972	105.710.580	244.491.410	174.306.561	290.114.983	831.663.506
	17.039.972	97.125.518	214.257.924	151.424.905	236.588.567	716.436.886

Nota: Precios referidos a Julio de 2011
Fuente: Elaboración propia

5.8.2. Inversiones Intraprediales

Las inversiones intraprediales se concentraron en los costos de puesta en riego y la habilitación de terrenos.

La incorporación de métodos tecnificados de riego en Situación Sin Proyecto y Situación Con Proyecto, además de los cambios de estructura productiva en este último escenario implica una inversión para adquirir estos sistemas.

En el Cuadro 5.8.2-1 se presentan los costos de inversión, costos fijos y operaciones por hectárea para cada uno de los sistemas considerados. A su vez, en el Cuadro 5.8.2-2 muestra la superficie incorporada al riego tecnificado en cada escenario. Finalmente los Cuadros 5.8.2-3 y 5.8.2-4 resumen los costos de inversión y mantención anual para el área de estudio.

CUADRO 5.8.2-1
COSTOS POR HECTÁREA RIEGO TECNIFICADO

Tipo Sistema	Inversión ($)	Costo Anual ($)		
		Reparaciones	Energía	Total
Aspersión	896.350	43.819	82.500	126.319
Cintas	1.452.600	72.630	115.228	187.858
Goteo	2.198.451	109.923	242.413	352.336

Nota: Precios referidos a Julio de 2011
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 5.8.2-2
SUPERFICIE INCORPORADA AL RIEGO TECNIFICADO

Sistema de Riego	Superficie Incorporada (ha)					
	E1	E2	E3	E4	E5	Total
Situación Sin Proyecto						
Cintas	5,4	46.7	35,7	15,1	9,4	112,3
Goteo	3,0	43.5	10,4	69,5	213,4	339,9
Situación Con Proyecto						
Aspersión	0,0	0,0	7,2	17,6	155,0	179,8
Cintas	8,4	79.0	46,8	32,9	4,1	171,3
Goteo	15,0	52 1	36,3	115,9	224,6	443,9

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 5.8.2-3
INVERSIÓN EN RIEGO TECNIFICADO SUPERFICIE INCORPORADA

Sistema de Riego	Costo Total Inversión ($)					
	E1	E2	E3	E4	E5	Total
Situación Sin Proyecto						
Cintas	7.867.367	67.877.169	51.362.609	21.870.543	13.694.065	163.171.753
Goteo	6.703.785	95.738.914	22.396.386	152.813.313	469.050.296	747.202.694
Situación Con Proyecto						
Aspersión	0	0	6.430.475	15.775.458	138.957.933	161.163.866
Cintas	12.225.756	114.826.471	67.939.156	47.838.166	5.989.534	248.819.083
Goteo	32.983.400	114.574.058	79.319.356	254.854.144	493.764.456	975.995.414

Nota: Precios referidos a Julio de 2011
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.8.2-4
COSTO ANUAL RIEGO TECNIFICADO SUPERFICIE INCORPORADA

Sistema de Riego	Costo Total Inversión ($)					
	E1	E2	E3	E4	E5	Total
Situación Sin Proyecto						
Cintas	1.017.450	8.778.239	6.707.150	2.828.416	1.770.990	21.102.244
Goteo	1.074.385	15.343.631	3.669.498	24.490.680	75.172.514	119.750.708
Situación Con Proyecto						
Aspersión	0	0	906.221	2.223.172	19.582.783	22.712.175
Cintas	1.581.100	14.849.973	8.786.255	6.186.687	774.599	32.178.614
Goteo	5.286.096	18.362.253	12.792.278	40.844.291	79.133.338	156.418.255

Nota: Precios referidos a Julio de 2011
Fuente: Elaboración propia

La habilitación de terrenos para la agricultura se valoró según cuatro posibilidades de cambio productivo hacia un cultivo de frutales.

- Desde otro frutal.
- Desde paradera natural.
- Desde Alfalfa.
- Desde un cultivo anual.

Los costos asociados por hectárea y el valor de habilitación ponderado que se utilizó se presentan en el Cuadro 5.8.2-5.

CUADRO 5.8.2-5
COSTOS DE HABILITACIÓN POR HECTÁREA PONDERADO PARA HABILITACIÓN DE TERRENOS

SITUACION DE CAMBIO	Costo/ha ($)	Factor Ponderación	Costo Ponderado ($)
Frutal a Frutal	1.566.950	0,25	391.738
Pradera Natural a Frutal	902.700	0,20	180.540
Alfalfa a Frutal	405.925	0,30	121.778
Cultivo Anual a Frutal	187.350	0,25	46.838
COSTO TOTAL PONDERADO			740.893

Nota: Precios referidos a Julio de 2011
Fuente: Elaboración propia

Finalmente se determinó la superficie de frutales incorporados y ésta se multiplicó por el valor ponderado para obtener el costo total de habilitación (Cuadro 5.8.2-6). Este costo es distribuido a lo largo de los años de incorporación de los frutales en Situación Con Proyecto.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.8.2-6
SUPERFICIE DE FRUTALES INCORPORADA Y COSTO DE HABILITACIÓN EN SITUACIÓN CON PROYECTO

ITEM	E1	E2	E3	E4	E5	Total
Superficie Habilitada (ha)	2,6	2,2	22,6	11,6	11,8	50,9
Costo de Habilitación Total ($)	1.917.821	1.663.913	16.739.641	8.580.280	8.777.980	37.679.636

Nota: Precios referidos a Julio de 2011
Fuente: Elaboración propia

5.9. DEMANDAS DE AGUA

Se realizó para la Situación Actual (SA), Futura Sin Proyecto (SSP) y Futura Con Proyecto (SCP) una descripción de las demandas de agua para uso agrícola en base a la caracterización productiva predial: Para obtener la demanda bruta total del área regada se requiere de información correspondiente a evapotranspiración potencial, coeficientes de cultivo, precipitación efectiva, demandas netas de agua de riego, eficiencias y tasas de riego por cultivo.

En el Cuadro 5.9-1 se presenta un resumen de la demanda por cada sector definido para el presente estudio y el total para 3.620,1 ha según la estructura productiva de cada escenario en el área de estudio.

Como conclusión se desprende que la demanda bruta total anual en la Situación Con Proyecto sería de 40,4 hm^3, que si se comparan con los 48,4 hm^3 demandados en Situación Actual y con los 46,6 hm^3 de la Situación Sin Proyecto, se advierte una disminución de 19,9% y 15,3% respectivamente, diferencia que se relaciona con la mayor con una menor tasa de riego.

El análisis entre oferta y demanda de agua se ha realizado a través del modelo de simulación hidrológica del sistema de riego, cuyos resultados se presentan en el Capítulo 6 del Volumen I del presente informe. En dicho informe también se incorporan las pérdidas en el sistema de conducción extrapredial.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.9-1
DEMANDA BRUTA (m^3/mes)

SECTOR	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	TOTAL
Situación Actual (SA)													
1	822.421	0	0	0	0	165.623	1.312.357	2.626.990	3.612.049	3.804.057	3.097.888	2.242.804	17.684.189
2	579.171	0	0	0	0	145.062	1.194.955	2.399.753	3.305.311	3.439.151	2.682.345	1.908.966	15.654.713
3	621.936	0	0	0	0	143.095	1.151.158	2.303.912	3.298.536	3.492.156	2.489.805	1.561.375	15.061.974
Total	2.023.528	0	0	0	0	453.780	3.658.470	7.330.655	10.215.897	10.735.364	8.270.038	5.713.145	48.400.876
Situación Sin Proyecto (SSP)													
1	804.739	0	0	0	0	162.726	1.281.653	2.560.906	3.514.215	3.695.871	3.014.102	2.186.408	17.220.620
2	568.841	0	0	0	0	136.268	1.136.814	2.287.989	3.148.508	3.285.595	2.648.205	1.883.784	15.096.002
3	612.313	0	0	0	0	132.941	1.069.619	2.138.480	3.062.252	3.265.865	2.440.254	1.542.641	14.264.365
Total	1.985.893	0	0	0	0	431.935	3.488.086	6.987.374	9.724.975	10.247.331	8.102.561	5.612.833	46.580.988
Situación Con Proyecto (SCP)													
1	639.035	0	0	0	0	142.000	1.174.743	2.369.454	3.267.765	3.388.494	2.575.220	1.813.168	15.369.877
2	409.269	0	0	0	0	112.777	969.608	1.965.850	2.701.135	2.736.965	2.120.451	1.448.626	12.454.681
3	500.448	0	0	0	0	118.959	973.372	1.959.103	2.773.505	2.877.537	2.075.426	1.270.024	12.548.374
Total	1.548.751	0	0	0	0	373.736	3.117.722	6.294.408	8.742.405	9.002.995	6.771.097	4.531.817	40.372.932

Fuente: Elaboración propia

5.10. PROGRAMA DE ASISTENCIA TÉCNICA Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

5.10.1. Situación Futura Sin Proyecto

Con fines de asignar recursos para el programa en Situación Sin Proyecto de transferencia tecnológica se han considerado en forma separada los Predios Promedio de los estratos E3, E4 y E5 del resto de las propiedades. Lo anterior, es debido a que los agricultores de estos Predios presentan, en general, un mayor nivel empresarial y tecnológico que el resto de los beneficiarios del proyecto.

Los programas de asistencia técnica y transferencia tecnológica se identifican y dimensionan a continuación:

Para los estratos E1 y E2, el objetivo principal de los programas será orientar y capacitar al agricultor para trabajar en forma más eficiente el riego, de manera de lograr un buen manejo de los recursos productivos y con ello lograr un aumento sustancial de los beneficios económicos a nivel de predio, en forma permanente y sostenida. Se determinó un programa de asistencia técnica con un costo anual de 15 UF por agricultor de estos estratos, es decir, $ 328.392 anuales a UF de Julio de 2011.

Los costos de estos programas se presentan para los predios de los estratos E1 y E2 en el Cuadro 5.10.1-1. Es necesario indicar que el programa de asistencia técnica será ofrecido a un 40% de los agricultores.

CUADRO 5.10.1-1
COSTOS DE PROGRAMA DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
PREDIOS ESTRATOS E1 Y E2 SITUACIÓN SINN PROYECTO

SECTOR	TIPO PREDIO	NIVEL AGRICULTOR	AGRICULTORES BENEFICIADOS (40%)		TOTAL COSTO ANUAL ($)		TOTAL COSTO PROGRAMA ($ 6 AÑOS)	
			E1	E2	E1	E2	E1	E2
1	Ganadero	Bajo	7	4	2.233.066	1.182.211	13.398.394	7.093.267
	Frutícola y Hortalicero	Bajo	45	6	14.711.962	1.838.995	88.271.770	11.033.971
		Medio	7	2	2.233.066	656.784	13.398.394	3.940.704
		Medio a Alto	0	9	0	3.021.206	0	18.127.238
2	Ganadero	Medio	0	4	0	1.313.568	0	7.881.408
	Frutícola y Hortalicero	Bajo	27	3	8.932.262	1.050.854	53.593.574	6.305.126
		Medio	0	6	0	2.101.709	0	12.610.253
		Medio a Alto	0	16	0	5.122.915	0	30.737.491
3	Ganadero	Medio	4	0	1.182.211	0	7.093.267	0
	Frutícola y Hortalicero	Bajo	14	0	4.728.845	0	28.373.069	0
		Medio	36	17	11.953.469	5.516.986	71.720.813	33.101.914
		Medio a Alto	0	0	0	0	0	0
Total Área de estudio			**140**	**66**	**45.974.880**	**21.805.229**	**275.849.280**	**130.831.373**

Nota: Precios referidos a Julio de 2011
Fuente: Elaboración propia

Los predios de mayor tamaño, generalmente, corresponden a explotaciones comerciales de frutales y vides, conformados por rubros de mayor rentabilidad y con una mejor tecnología que los predios de menor tamaño .

Para determinar un costo por asistencia técnica en estos predios, se ha considerado que se imparta transferencia tecnológica por empresas privadas, estimándose un valor por predio equivalente a $ 85.000/ha de riego anuales por cuatro años.

El costo anual por hectárea cubre los costos de contratación de profesionales, mantención de oficinas, vehículos y materiales divulgativos, entre otros.

En el Cuadro 5.10.1-2 se presenta el costo total del programa de asistencia técnica suponiendo que el número de beneficiarios será de un 40% de la superficie regada en cada escenario.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.10.1-2
COSTOS DE PROGRAMA DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA PREDIOS ESTRATO E3, E4 Y E5 SITUACIÓN SIN PROYECTO

SECTOR	TIPO PREDIO	NIVEL AGRICULTOR	SUP. BENEFICIADA			TOTAL COSTO ANUAL ($)			TOTAL COSTO PROGRAMA (3 4 AÑOS)		
			E3	E4	E5	E3	E4	E5	E3	E4	E5
1	Ganadero	Bajo	61,5	19,8	17,3	5.225.171	1.686.924	1.472.211	20.900.685	6.747.698	5.888.845
	Frutícola y Hortalicero	Bajo	31,0	0,0	0,0	2.634.177	0	0	10.536.709	0	0
		Medio	45,6	84,4	58,1	3.875.695	7.174.074	4.935.108	15.502.781	28.696.295	19.740.434
		Medio a Alto	28,1	0,0	0,0	2.385.874	0	0	9.543.495	0	0
2	Ganadero	Medio	25,0	47,1	0,0	2.128.777	4.005.813	0	8.515.105	16.023.253	0
	Frutícola y Hortalicero	Bajo	0,0	39,1	0,0	0	3.326.675	0	0	13.306.699	0
		Medio	26,5	0,0	43,9	2.255.489	0	3.734.897	9.021.958	0	14.939.588
		Medio a Alto	83,5	0,0	0,0	7.095.922	0	0	28.383.687	0	0
3	Ganadero	Medio	31,4	0,0	0,0	2.665.305	0	0	10.661.220	0	0
	Frutícola y Hortalicero	Bajo	51,5	21,6	0,0	4.375.508	1.832.484	0	17.502.034	7.329.938	0
		Medio	25,2	32,6	0,0	2.138.775	2.774.693	0	8.555.099	11.098.772	0
		Medio a Alto	26,5	0,0	0,0	2.253.060	0	0	9.012.241	0	0
Total Área de estudio			435,7	244,7	119,3	37.033.754	20.800.664	10.142.217	148.135.015	83.202.655	40.568.368

Nota: Precios referidos a Julio de 2011
Fuente: Elaboración propia

5.10.2. Situación Futura Con Proyecto

La proposición de mejoramiento está basado en un programa para obtener los mejores beneficios económicos derivados de la posesión de recursos hídricos seguros en el tiempo que permitan una adecuada satisfacción de la demanda.

Se establece una asesoría técnica permanente para los agricultores de la zona. Esta asesoría logra enseñar e introducir mejoras en cuanto al manejo del riego (si fuera pertinente), manejo de nuevas técnicas de producción cultivos (especies, variedades, épocas de siembra, uso de insumos, épocas de aplicación, etc.) y gestión administrativa (contabilidad, comercialización, etc.).

Considerando que el programa ha sido diseñado para un total de 732 predios (excluyendo predios de nivel alto), se tiene que el costo por concepto de transferencia tecnológica asciende a los $163.411/predio en el primer año (año 1) y $137.873/predio desde el año 2 al año 7 del horizonte de evaluación.

Cabe señalar que la duración del programa dependerá del tamaño de las explotaciones:

- Estrato E1: Siete años.
- Estrato E2 y E3: Seis años

- Estrato E4 y E5: Cuatro años

Finalmente, en el Cuadro 5.10.2-1 se detallan los costos por año para cada uno de los predios promedio con nivel Bajo, Medio y Medio a Alto, junto a su respectiva expansión al total de cada estrato de tamaño y el área de estudio. Estos costos han sido calculados de acuerdo al número de predios.

CUADRO 5.10.2-1
COSTOS TOTAL PROGRAMA DE ASISTENCIA TÉCNICA Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA SITUACIÓN CON PROYECTO

SECTOR	TIPO PREDIO	NIVEL AGRICULTOR	ESTRATO	Costo Anual por predio ($)				Costo Total por Predio ($)	Predios Beneficiados	Costo Total Expandido ($)
				Año 1	Año 2 - 4	Año 5- 6	Año 7			
1	Ganadero	Bajo	E1	163.411	137.873	137.873	137.873	990.651	17	16.841.075
			E2	163.411	137.873	137.873		852.778	9	7.675.003
			E3	163.411	137.873	137.873		852.778	22	18.761.118
			E4	163.411	137.873			577.031	4	2.308.125
			E5	163.411	137.873			577.031	1	577.031
	Frutícola y Hortalicero	Bajo	E1	163.411	137.873	137.873	137.873	990.651	112	110.952.966
			E2	163.411	137.873	137.873		852.778	14	11.938.893
			E3	163.411	137.873	137.873		852.778	13	11.086.115
		Medio	E1	163.411	137.873	137.873	137.873	990.651	17	16.841.075
			E2	163.411	137.873	137.873		852.778	5	4.263.890
			E3	163.411	137.873	137.873		852.778	15	12.791.671
			E4	163.411	137.873			577.031	16	9.232.501
			E5	163.411	137.873			577.031	4	2.308.125
		Medio a Alto	E2	163.411	137.873	137.873		852.778	23	19.613.896
			E3	163.411	137.873	137.873		852.778	13	11.086.115
2	Ganadero	Medio	E2	163.411	137.873	137.873		852.778	10	8.527.781
			E3	163.411	137.873	137.873		852.778	8	6.822.225
			E4	163.411	137.873			577.031	8	4.616.250
	Frutícola y Hortalicero	Bajo	E1	163.411	137.873	137.873	137.873	990.651	68	67.364.301
			E2	163.411	137.873	137.873		852.778	8	6.822.225
			E4	163.411	137.873			577.031	7	4.039.219
		Medio	E2	163.411	137.873	137.873		852.778	16	13.644.449
			E3	163.411	137.873	137.873		852.778	12	10.233.337
			E5	163.411	137.873			577.031	4	2.308.125
		Medio a Alto	E2	163.411	137.873	137.873		852.778	39	33.258.345
			E3	163.411	137.873	137.873		852.778	33	28.141.677
3	Ganadero	Medio	E1	163.411	137.873	137.873	137.873	990.651	9	8.915.863
			E3	163.411	137.873	137.873		852.778	10	8.527.781
	Frutícola y Hortalicero	Bajo	E1	163.411	137.873	137.873	137.873	990.651	36	35.663.453
			E3	163.411	137.873	137.873		852.778	17	14.497.227
			E4	163.411	137.873			577.031	5	2.885.156
		Medio	E1	163.411	137.873	137.873	137.873	990.651	91	90.149.285
			E2	163.411	137.873	137.873		852.778	42	35.816.680
			E3	163.411	137.873	137.873		852.778	10	8.527.781
			E4	163.411	137.873			577.031	7	4.039.219
		Medio a Alto	E3	163.411	137.873	137.873		852.778	7	5.969.447
Total Área de Estudio										657.047.427

Nota: Precios referidos a Julio de 2011
Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5.11. BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO

5.11.1. Beneficios Económicos Directos

A partir de las margenes brutos por hectárea (unitarios) multiplicados por la estructura de cultivos de la superficie de riego y descontando los gastos indirectos generales y de asistencia técnica considerados es posible obtener los margenes netos en las Situaciones Sin y Con Proyecto. No obstante lo anterior, la seguridad de riego del área de estudio los rendimientos determina que en algunos años los cultivos vean restringidas su satisfacción de la demanda. Por ello, se ha utilizado la estadística de 30 años en el río Aconcagua (1975-2005) para calcular la satisfacción de la demanda anual para las 3.620,1 ha de riego que se muestra en el Cuadro 5.11.1-1.

CUADRO 5.11.1-1
SATISFACCIÓN ANUAL DE DEMANDA SD (%)

	Sector 1		Sector 2		Sector 3	
Año	SSP	SCP	SSP	SCP	SSP	SCP
0	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
1	98,0%	100,0%	100,0%	100,0%	95,8%	99,0%
2	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
3	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
4	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
5	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
6	93,8%	99,8%	100,0%	100,0%	85,3%	94,7%
7	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
8	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
9	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
10	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,8%	100,0%
11	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
12	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13	94,5%	99,6%	100,0%	100,0%	86,3%	94,9%
14	98,3%	100,0%	100,0%	100,0%	95,1%	99,1%
15	88,9%	96,5%	98,4%	100,0%	81,5%	90,8%
16	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18	98,4%	100,0%	100,0%	100,0%	96,2%	99,1%
19	98,1%	100,0%	100,0%	100,0%	95,9%	99,0%
20	94,1%	98,7%	99,5%	100,0%	88,8%	95,1%
21	78,8%	89,9%	92,4%	98,5%	71,4%	83,6%
22	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
23	87,6%	96,8%	98,8%	100,0%	77,9%	89,8%
24	97,9%	100,0%	100,0%	100,0%	93,9%	98,9%
25	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
26	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
27	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
28	99,1%	100,0%	100,0%	100,0%	97,0%	99,5%
29	96,4%	100,0%	100,0%	100,0%	90,8%	97,4%
30	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Para obtener la satisfacción de la demanda primero se obtiene el deficit mensual entre la oferta y demanda y luego se promedia el periodo de riego, obteniendo la satisfacción media anual de la demanda (SD).

Para evaluar la incidencia del recurso agua sobre el rendimiento de los diferentes cultivos, se utiliza la metodología propuesta en FAO 33, la cual ocupa funciones de producción del agua.

Las funciones utilizadas son las propuestas por Doorenbos y Kassan (FAO 33, 1979), obtenidas en forma experimental. En ellas se presenta la relación entre el rendimiento y la evapotranspiración en términos relativos, lo que permite utilizar estas ecuaciones en diferentes condiciones edafoclimáticas.

Estas funciones se expresan a través del siguiente modelo:

$$Ym = (1 - Ky \times (1 - Sd)) \times Ya$$

Donde:

Ym = Rendimiento cosechado afectado por la satisfacción de la demanda.

Ya = Rendimiento actual cosechado.

Ky = Factor del efecto sobre el rendimiento.

Sd = Satisfacción de la demanda.

Los rendimientos (Ym) se calcularon a partir de las funciones de producción indicadas anteriormente en donde valores de Ky menores representan a cultivos cuyo rendimiento final es menos sensible al déficit hídrico (Cuadro 5.11.1-2)

En los casos en donde el factor de satisfacción de la demanda (SD) fue menor de 0,55 se determinó que existe un efecto en los rendimientos de los frutales que prevalece por dos años. El primer año el rendimiento alcanza un 30% del normal y el segundo año un 60%.

Los flujos se presentan para el área de estudio, en el Cuadro 5.11.1-3 a precios de mercado y en el Cuadro 5.11.1-4 a precios sociales.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.11.1-2
VALORES DE KY UTILIZADOS

Cultivo	Ky
Durazno	1,05
Nogal	1,05
Palto	1,05
Uva De Mesa	1,05
Uva Vinífera	1,05
Huerto Frutal	1,05
Otros Frutales	1,05
Alcachofa	1,25
Cebolla	1,25

Cultivo	Ky
Maíz Grano	1,25
Papa	1,25
Zanahoria	1,25
Chacra Casera	1,25
Otros Cultivos	1,25
Alfalfa Autoconsumo	1,10
Alfalfa Corte	1,10
Pradera Natural	1,10
Eucaliptus	1,00

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.11.1-3
FLUJO DE BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO
PRECIOS DE MERCADO (VALORES EN $)

AÑO	SAO					SF						FLUJO
	MARGEN BRUTO	COSTOS INDIRECTOS y GG	ASISTENCIA TECNICA	PUESTA EN RIEGO	MARGEN NETO	MARGEN BRUTO	COSTOS INDIRECTOS y GG	ASISTENCIA TECNICA	PUESTA EN RIEGO	HABILITACIÓN DE SUELOS	MARGEN NETO	
0	5.746.867.101	733.894.099	0	0	5.012.973.002	5.746.867.101	733.894.099	0	0	0	5.012.973.002	0
1	7.060.585.266	733.894.099	135.756.743	182.074.889	5.998.859.554	7.160.142.494	831.663.506	119.616.918	277.195.673	7.535.927	5.924.130.470	-74.794.784
2	10.227.509.888	733.894.099	135.756.743	210.245.480	9.147.613.566	10.392.508.445	831.663.506	100.923.328	319.457.482	7.535.927	9.132.928.202	-74.794.784
3	12.004.248.349	733.894.099	135.756.743	329.453.515	10.805.143.992	12.718.864.352	831.663.506	100.923.328	500.317.127	11.303.891	11.274.656.530	469.512.538
4	12.934.391.881	733.894.099	135.756.743	371.709.400	11.693.031.638	13.853.084.628	831.663.506	100.923.328	563.709.841	11.303.891	12.345.484.063	652.452.425
5	13.683.039.835	733.894.099	67.780.109	140.852.952	12.740.512.676	14.642.147.297	831.663.506	93.202.418	211.309.045	0	13.505.972.327	765.459.652
6	11.460.934.922	733.894.099	67.780.109	140.852.952	10.538.407.762	13.758.798.271	831.663.506	93.202.416	211.309.045	0	12.622.623.303	2.084.215.540
7	13.467.091.925	733.894.099	0	140.852.952	12.587.314.874	14.516.832.166	831.663.506	48.255.690	211.309.045	0	13.425.603.947	838.289.073
8	13.434.679.441	733.894.099	0	140.852.952	12.559.932.390	14.656.225.092	831.663.506	0	211.309.045	0	13.613.252.541	1.053.320.150
9	12.519.327.832	733.894.099	0	140.852.952	11.644.580.781	13.820.653.997	831.663.506	0	211.309.045	0	12.777.681.445	1.133.100.664
10	12.644.395.288	733.894.099	0	140.852.952	11.769.618.237	13.952.265.831	831.663.506	0	211.309.045	0	12.909.293.079	1.139.674.842
11	12.431.095.507	733.894.099	0	140.852.952	11.556.348.455	13.562.734.431	831.663.506	0	211.309.045	0	12.519.761.879	963.413.424
12	10.567.499.200	733.894.099	0	140.852.952	9.692.752.151	11.902.987.532	831.663.506	0	211.309.045	0	10.860.014.981	1.167.262.829
13	9.013.024.436	733.894.099	0	140.852.952	8.138.277.385	11.371.138.864	831.663.506	0	211.309.045	0	10.328.166.312	2.189.888.928
14	9.967.270.364	733.894.099	0	140.852.952	9.092.523.313	11.557.994.378	831.663.506	0	211.309.045	0	10.515.021.827	1.422.498.514
15	8.688.689.488	733.894.099	0	182.074.889	7.772.720.497	11.298.957.606	831.663.506	0	277.195.673	7.535.927	10.180.582.500	2.407.842.003
16	11.713.397.415	733.894.099	0	210.245.480	10.769.247.836	12.992.365.803	831.663.506	0	319.457.482	7.535.927	11.833.708.888	1.064.461.052
17	7.468.005.983	733.894.099	0	329.453.515	6.402.659.369	8.734.599.296	831.663.506	0	500.317.127	11.303.891	7.391.314.772	988.656.403
18	8.553.072.651	733.894.099	0	371.709.400	7.447.469.152	10.092.784.915	831.663.506	0	563.709.841	11.303.891	8.686.107.678	1.238.638.526
19	8.136.785.320	733.894.099	0	140.852.952	7.262.038.269	9.691.386.525	831.663.506	0	211.309.045	0	8.648.413.974	1.386.375.705
20	8.315.982.376	733.894.099	0	140.852.952	7.441.235.325	10.273.039.317	831.663.506	0	211.309.045	0	9.230.066.766	1.788.831.440
21	6.134.227.271	733.894.099	0	140.852.952	5.259.480.220	9.097.182.966	831.663.506	0	211.309.045	0	8.054.210.415	2.794.730.195
22	9.731.226.617	733.894.099	0	140.852.952	8.856.479.766	10.886.782.187	831.663.506	0	211.309.045	0	9.843.809.636	987.329.870
23	6.976.561.328	733.894.099	0	140.852.952	6.103.814.277	9.692.289.071	831.663.506	0	211.309.045	0	8.649.316.519	2.545.502.243
24	9.739.540.806	733.894.099	0	140.852.952	8.865.193.755	11.449.616.682	831.663.506	0	211.309.045	0	10.406.644.131	1.541.450.376
25	11.544.909.623	733.894.099	0	140.852.952	10.670.162.572	12.807.485.205	831.663.506	0	211.309.045	0	11.764.512.654	1.094.350.082
26	12.197.166.686	733.894.099	0	140.852.952	11.322.419.605	13.453.031.099	831.663.506	0	211.309.045	0	12.410.058.548	1.087.638.943
27	12.784.385.105	733.894.099	0	140.852.952	11.909.638.054	13.991.460.590	831.663.506	0	211.309.045	0	12.948.488.039	1.038.849.985
28	13.035.541.101	733.894.099	0	140.852.952	12.160.794.050	14.466.019.836	831.663.506	0	211.309.045	0	13.423.047.284	1.262.253.234
29	12.224.764.596	733.894.099	0	140.852.952	11.350.017.544	14.019.845.677	831.663.506	0	211.309.045	0	12.976.873.126	1.626.855.582
30	12.871.206.274	733.894.099	0	140.852.952	11.996.459.223	13.998.289.313	831.663.506	0	211.309.045	0	12.955.296.762	958.837.539

Nota: Precios referidos a Julio de 2011
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 5.11.1-3
FLUJO DE BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO
PRECIOS SOCIALES (VALORES EN $)

AÑO	SAO					SF						FLUJO
	MARGEN BRUTO	COSTOS INDIRECTOS y GG	ASISTENCIA TECNICA	PUESTA EN RIEGO	MARGEN NETO	MARGEN BRUTO	COSTOS INDIRECTOS y GG	ASISTENCIA TECNICA	PUESTA EN RIEGO	HABILITACIÓN DE SUELOS	MARGEN NETO	
0	6.588.514.630	618.667.479	0	0	5.969.847.151	6.588.514.630	618.667.479	0	0	0	5.969.847.151	0
1	7.973.638.921	618.667.479	135.756.743	182.074.889	7.037.139.809	8.047.264.505	716.436.886	119.616.918	277.195.673	7.535.927	6.926.479.101	[illegible]
2	11.273.389.620	618.667.479	135.756.743	210.245.480	10.308.719.918	11.444.903.906	716.436.886	100.923.328	319.457.482	7.535.927	10.300.550.283	[illegible]
3	13.191.443.940	618.667.479	135.756.743	329.453.515	12.107.566.203	13.966.634.266	716.436.886	100.923.328	500.317.127	11.303.891	12.637.653.034	530.086.831
4	14.150.798.752	618.667.479	135.756.743	371.709.400	13.024.665.130	15.150.787.211	716.436.886	100.923.328	563.709.841	11.303.891	13.758.413.265	733.748.136
5	14.814.861.782	618.667.479	67.780.109	140.852.952	14.087.561.242	15.957.801.689	716.436.886	93.202.418	211.309.045	0	14.936.853.340	849.292.098
6	12.721.316.925	618.667.479	67.780.109	140.852.952	11.894.016.385	15.064.223.135	716.436.886	93.202.418	211.309.045	0	14.043.274.787	2.149.258.401
7	14.675.425.320	618.667.479	0	140.852.952	13.915.904.889	15.818.042.449	716.436.886	48.255.690	211.309.045	0	14.842.040.828	926.135.939
8	14.658.851.690	618.667.479	0	140.852.952	13.899.331.259	15.975.015.251	716.436.886	0	211.309.045	0	15.047.269.320	1.147.938.061
9	13.780.705.659	618.667.479	0	140.852.952	13.021.185.228	15.114.184.918	716.436.886	0	211.309.045	0	14.186.438.987	1.165.253.759
10	13.804.197.792	618.667.479	0	140.852.952	13.044.677.361	15.186.161.059	716.436.886	0	211.309.045	0	14.258.415.128	1.213.737.767
11	13.560.385.864	618.667.479	0	140.852.952	12.800.865.433	14.755.797.512	716.436.886	0	211.309.045	0	13.828.051.581	1.027.186.147
12	11.711.755.812	618.667.479	0	140.852.952	10.952.235.381	13.023.170.048	716.436.886	0	211.309.045	0	12.095.424.117	1.143.189.736
13	10.043.136.421	618.667.479	0	140.852.952	9.283.615.990	12.427.572.162	716.436.886	0	211.309.045	0	11.499.826.231	2.216.210.241
14	10.930.820.275	618.667.479	0	140.852.952	10.171.299.844	12.693.051.312	716.436.886	0	211.309.045	0	11.765.305.381	1.594.005.537
15	9.679.574.280	618.667.479	0	182.074.889	8.878.831.911	12.361.487.917	716.436.886	0	277.195.673	7.535.927	11.360.319.431	2.481.487.520
16	12.743.961.712	618.667.479	0	210.245.480	11.915.048.753	14.114.062.317	716.436.886	0	319.457.482	7.535.927	13.070.632.022	1.155.583.269
17	8.496.986.642	618.667.479	0	329.453.515	7.548.865.648	9.744.533.825	716.436.886	0	500.317.127	11.303.891	8.516.475.922	967.610.274
18	9.519.054.724	618.667.479	0	371.709.400	8.528.677.844	11.127.322.165	716.436.886	0	563.709.841	11.303.891	9.835.871.548	1.307.193.704
19	9.127.257.481	618.667.479	0	140.852.952	8.367.737.030	10.733.443.594	716.436.886	0	211.309.045	0	9.805.697.663	1.437.960.633
20	9.348.996.848	618.667.479	0	140.852.952	8.589.476.417	11.336.204.045	716.436.886	0	211.309.045	0	10.408.458.114	1.818.981.697
21	7.224.801.709	618.667.479	0	140.852.952	6.465.281.278	10.254.328.863	716.436.886	0	211.309.045	0	9.328.582.932	2.863.301.655
22	10.912.591.613	618.667.479	0	140.852.952	10.153.071.182	12.092.534.865	716.436.886	0	211.309.045	0	11.164.788.734	1.011.717.552
23	8.118.911.923	618.667.479	0	140.852.952	7.359.391.492	10.899.081.277	716.436.886	0	211.309.045	0	9.971.335.345	2.612.043.853
24	10.868.520.069	618.667.479	0	140.852.952	10.108.999.639	12.721.880.849	716.436.886	0	211.309.045	0	11.794.134.918	1.965.135.280
25	12.724.633.599	618.667.479	0	140.852.952	11.965.113.168	14.074.974.380	716.436.886	0	211.309.045	0	13.147.228.449	1.182.115.281
26	13.396.664.203	618.667.479	0	140.852.952	12.637.143.772	14.745.730.630	716.436.886	0	211.309.045	0	13.817.984.699	1.180.840.928
27	14.017.004.858	618.667.479	0	140.852.952	13.257.484.427	15.297.072.578	716.436.886	0	211.309.045	0	14.369.326.647	1.111.842.220
28	14.255.598.482	618.667.479	0	140.852.952	13.496.078.051	15.775.391.783	716.436.886	0	211.309.045	0	14.847.645.852	1.351.567.801
29	13.444.261.181	618.667.479	0	140.852.952	12.684.740.750	15.326.725.591	716.436.886	0	211.309.045	0	14.398.979.660	1.714.238.911
30	14.134.153.255	618.667.479	0	140.852.952	13.374.632.824	15.279.875.385	716.436.886	0	211.309.045	0	14.352.129.454	977.496.629

Nota: Precios referidos a Julio de 2011
Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5.11.2. Generación de Empleo Agrícola

La utilización de mano de obra agrícola se desprende de las fichas técnico-económicas de cada cultivo, tanto para la Situación Actual como para la Futura con Proyecto.

El empleo permanente se calcula en base al promedio de jornadas de los seis meses con menos uso de mano de obra en el área de estudio dividido por 24 jornadas mensuales.

Las jornadas temporales anuales son el resultado de la sustracción entre las jornadas totales y jornadas permanentes anuales.

Un aspecto importante a destacar es la generación de mano de obra agrícola en un escenario con proyecto versus la situación actual. En el Cuadro 5.11.2-1 es posible observar el balance de la generación de empleo agrícola permanente y temporal entre la Situación Actual y la Situación Con Proyecto, en el cual destaca el crecimiento de 6,78% del empleo permanente femenino mensual, respectivamente. A esto se suma el aumento de las jornadas temporales anuales femeninas en un 1,77%.

CUADRO 5.11.2-1
GENERACIÓN DE EMPLEO AGRICOLA TOTAL AREA

Tipo Jornada	SA	SF	Variación		
			Nº	% Total	% Anual
Jornadas Anuales Totales					
Masculinas	213.978	201.600	-12.377	-5,8%	-0,50%
Femeninas	55.802	90.006	34.204	61,3%	4,06%
Jornadas Anuales Permanentes					
Masculinas	134.437	131.889	-2.547	-1,9%	-0,16%
Femeninas	21.778	47.990	26.212	120,4%	6,81%
Empleos Mensuales Permanentes					
Masculinos	467	458	-9	-1,9%	-0,16%
Femeninas	76	167	91	119,7%	6,78%
Jornadas Anuales Temporales					
Masculinas	79.541	69.711	-9.830	-12,4%	-1,09%
Femeninas	34.023	42.016	7.992	23,5%	1,77%

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

CAPÍTULO 6

MODELO DE SIMULACION SISTEMA DE RIEGO CATEMU

6. MODELO DE SIMULACION SISTEMA DE RIEGO CATEMU

6.1. OBJETIVOS

El objetivo general del modelo es representar los balances de agua en cada uno de las zonas agrícolas del sistema de riego de Catemu y evaluar el impacto del proyecto de mejoramiento planteado, en indicadores globales como la seguridad de riego y las pérdidas de agua por conducción (en promedio).

Los objetivos específicos del modelo son los siguientes:

- Determinar la seguridad de riego del sistema, en los escenarios actual, actual optimizado y con proyecto.
- Determinar la serie de caudales medios mensuales de generación para la minicentral hidroeléctrica, cuya operación está supeditada al riego.
- Calcular el impacto del proyecto en las pérdidas de agua del sistema.

6.2. DESCRIPCION DEL MODELO

Se plantea un modelo de simulación a escala mensual, desarrollado en planillas digitales, que permite el cálculo de la distribución de los caudales captados en las zonas de riego y los correspondientes balances hídricos de oferta y demanda de agua.

En la Figura 6.2-1 se ilustra el esquema del modelo desarrollado, el cual consta de los siguientes elementos principales:

Cauces naturales: Se representa el río Aconcagua en el tramo de interés en que se captan los recursos hídricos al sistema de riego y el estero Catemu, que recibe una parte de los caudales generados en la situación con proyecto.

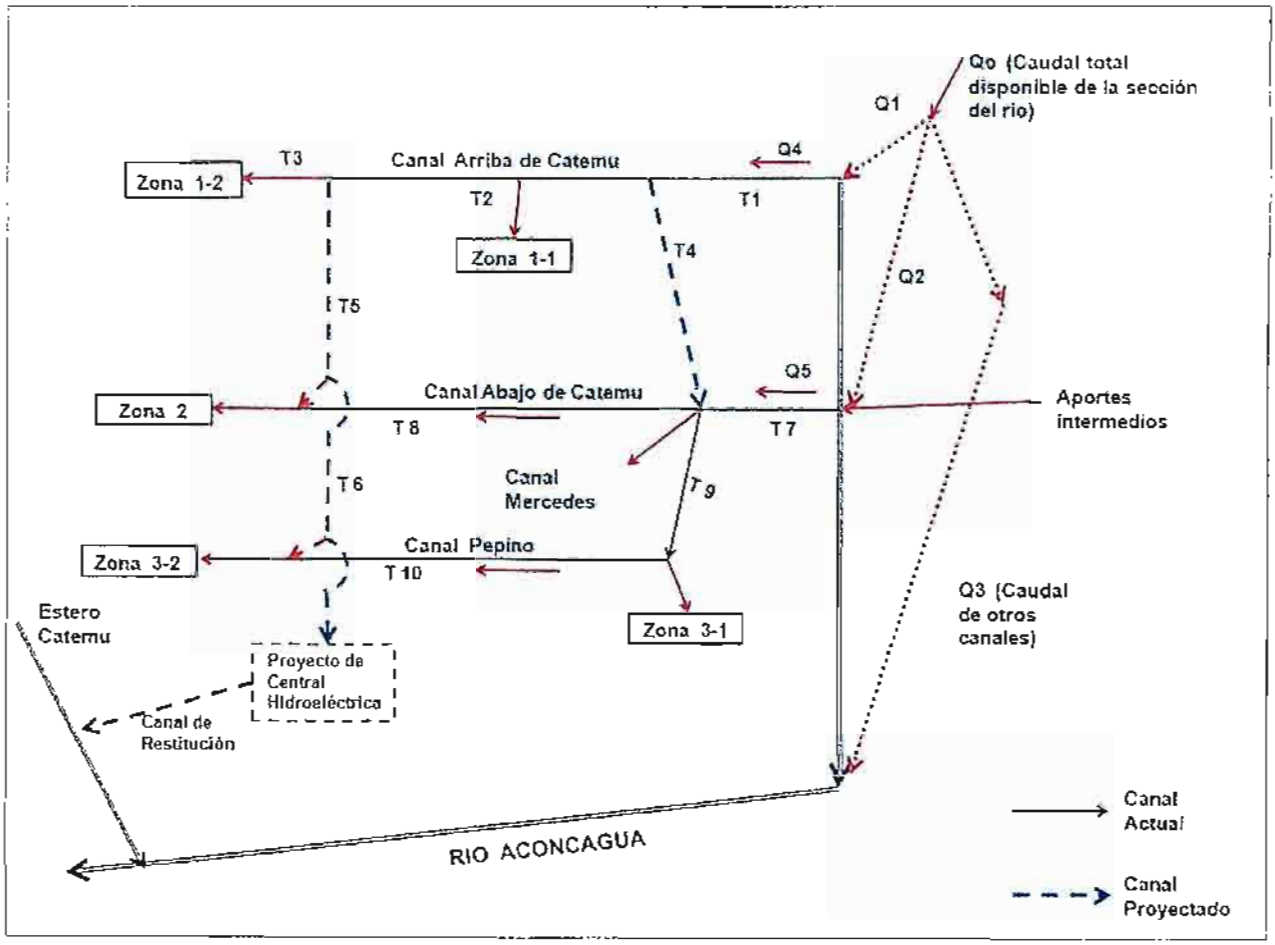
Canales: En el modelo se representa los canales principales o matrices Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino o Huidobro. Además, existe un pequeño canal denominado "Mercedes", cuyas demandas y recursos conducidos se han excluido del modelo de simulación.

En la Figura 6.2-1 se aprecia la red de canales actual, con trazo continuo, que considera la captación a través de las dos bocatomas. La primera bocatoma es la del canal Arriba de Catemu, que tiene los tramos 1, 2 y 3, para abastecer las zonas 1-1 y 1-2. La segunda bocatoma corresponde al canal Abajo de Catemu el cual tiene un primer tramo común (tramo 7) después del cual se divide en los

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4900 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniera.cl

siguientes tres: el tramo 8 que abastece la zona 2, el tramo 9 que abastece al canal Pepino y la entrega al canal Mercedes (excluido).

FIGURA 6.2-1
ESQUEMA DEL MODELO DE SIMULACIÓN DESARROLLADO



Fuente: Elaboración propia

El canal Pepino a su vez se divide en la zona 3-1 (abastecido por el tramo 9) y la zona 3-2, (abastecido por el tramo 10). La zona 3-2 tiene la posibilidad de ser abastecido, en el escenario con proyecto, con aguas generadas por la minicentral.

En el escenario con proyecto, se considera que parte de los recursos hídricos de los canales Abajo de Catemu y Pepino sean distribuidos a las zonas de riego por el canal ampliado del modo siguiente: En primer lugar, se conduce un caudal máximo por derechos de 12,92 m³/s por el tramo 1. Luego de la entrega a la Zona1-1 el agua continúa por el tramo 2. Luego el tramo 2 se divide en los tres tramos siguientes: el tramo 3 que abastece la zona 1-2; el tramo 5 que son las aguas que se generan y una parte de éstas abastecen la zona 3-2; y el tramo 6 que abastece la zona 2.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Zonas de riego: Las zonas de riego corresponden a un grupo de canales secundarios que tiene una misma fuente de abastecimiento de agua. En el Cuadro 6.2-1se indica las zonas consideradas y su correspondiente descripción

CUADRO 6.2-1
ZONAS DE RIEGO DEL MODELO

ZONA	DESCRIPCIÓN
1-1	Alto Antes de MCH
1-2	Alto Después de MCH
2	Bajo
3-1	Pepino antes de MCH
3-2	Pepino después de MCH

Fuente: Elaboración propia

6.3. INFORMACION UTILIZADA

El modelo desarrollado utiliza la siguiente información:

Serie de Caudales Medios Mensuales: El modelo utiliza como fuente de recursos superficiales, la serie de caudales medios mensuales del río Aconcagua, en el sector de las bocatomas de los canales Arriba de Catemu y Abajo de Catemu. Esta serie hidrológica, de 56 años de extensión, fue determinada en el estudio hidrológico de este mismo proyecto y se detalla en el Cuadro 6.3-1

CUADRO 6.3-1
CAUDALES MEDIOS MENSUALES DEL RÍO ACONCAGUA
FRENTE A BOCATOMAS CANALES CATEMU (M³/S)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1950/51	10,8	13,6	10,5	8,6	12,2	10,3	12,6	24,6	57,2	22,4	10,7	10,7	17,0
1951/52	9,6	11,4	12,8	17,8	14,2	12,2	11,2	28,7	37,0	22,0	9,9	9,0	16,3
1952/53	8,9	12,6	14,4	13,0	12,7	15,1	14,9	41,6	58,8	26,7	18,7	13,2	20,9
1953/54	11,5	13,7	14,6	14,2	27,7	40,2	35,2	118,0	175,0	114,1	61,5	24,0	54,1
1954/55	15,3	14,2	15,4	12,4	13,6	14,0	12,1	39,4	40,8	33,8	14,6	11,4	19,7
1955/56	9,6	13,2	15,0	14,5	13,4	12,6	12,8	35,7	33,8	15,0	11,5	10,8	16,5
1956/57	8,8	12,8	10,1	10,6	12,5	11,0	11,3	15,6	9,9	10,0	9,1	9,3	10,9
1957/58	8,6	16,8	15,9	13,9	15,4	12,7	14,0	24,7	40,1	20,8	9,7	11,2	17,0
1958/59	9,3	11,3	18,2	13,2	11,5	11,3	22,3	23,1	17,6	9,6	9,6	10,3	14,0
1959/60	9,1	15,2	14,1	16,7	17,2	17,4	15,3	30,7	50,0	20,1	12,5	10,3	19,0
1960/61	8,0	9,0	16,2	11,4	12,4	11,8	16,1	56,8	65,5	23,6	12,9	16,5	21,7
1961/62	9,6	10,1	13,1	14,0	15,3	14,0	34,2	72,3	80,2	32,4	28,4	14,7	28,2
1962/63	10,8	11,4	13,9	13,9	14,0	12,4	19,1	61,8	48,5	19,8	12,6	11,6	20,3
1963/64	8,4	9,8	11,1	14,4	14,4	25,0	22,9	27,9	140,9	123,5	47,0	18,8	38,7
1964/65	13,7	13,0	12,8	10,3	10,0	8,5	7,1	7,9	8,3	8,9	8,7	9,1	9,9
1965/66	9,7	8,9	8,4	12,2	28,3	21,9	37,9	85,1	68,3	75,5	28,2	15,0	33,3
1966/67	12,1	11,8	14,0	14,4	13,8	14,2	16,7	33,6	34,2	25,3	16,2	10,8	18,1

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 6.3-1
CAUDALES MEDIOS MENSUALES DEL RÍO ACONCAGUA
FRENTE A BOCATOMAS CANALES CATEMU (M³/S)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1967/68	9,5	9,9	9,8	10,4	8,1	8,0	7,8	8,8	10,1	9,0	8,6	6,8	8,9
1968/69	6,2	7,1	7,4	7,2	7,4	5,6	5,6	7,1	7,3	8,3	7,8	5,8	6,9
1969/70	5,4	6,5	8,7	6,8	7,6	6,4	6,3	15,4	50,9	19,1	12,1	9,5	12,9
1970/71	7,4	10,0	9,1	11,7	10,3	9,2	11,6	27,5	24,3	10,9	9,6	7,7	12,4
1971/72	6,2	7,6	7,7	9,8	10,8	10,5	15,7	45,0	22,8	14,6	9,9	7,7	14,0
1972/73	6,6	14,2	26,6	20,9	27,1	31,5	31,2	63,2	186,7	173,8	84,0	46,0	59,3
1973/74	19,7	16,5	16,0	18,5	14,9	11 1	12,9	34,4	36,4	45,4	21,6	15,1	21,9
1974/75	11,7	12,4	17,0	18,7	16,0	13.7	26,1	49,7	53,4	54,4	20,5	13,4	25,6
1975/76	11,1	11,3	11,2	12,5	12,9	12 5	12,2	12,7	32,6	18,0	9,5	9,3	13,8
1976/77	8,7	9,1	10,0	8,8	9,1	8,4	8,7	35,1	34,2	22,4	9,8	10,8	14,6
1977/78	7,8	10,0	11,4	20,3	20,3	35 5	48,7	77,4	111,3	55,9	28,2	15,3	36,9
1978/79	11,8	12,4	12,2	26,3	20,4	17 5	33,5	79,8	162,0	113,1	38,8	18,9	45,6
1979/80	13,6	14,0	12,1	11,2	12,9	13,7	15,1	19,5	39,7	43,7	21,6	17,8	19,6
1980/81	28,9	20,5	20,3	20,6	20,5	19,7	24,9	50,1	97,7	52,2	37,7	20,2	34,4
1981/82	13,7	17,8	14,9	11,1	11,8	9,5	9,3	16,7	10,2	11,8	9,2	7,8	12,0
1982/83	8,6	13,0	28,8	42,7	31,7	39,3	41,9	77,5	181,8	159,8	101,5	42,6	64,1
1983/84	20,7	16,9	16,2	18,9	18,7	16,4	43,7	78,5	102,5	56,9	31,6	15,4	36,4
1984/85	12,6	12,7	11,5	25,9	18,6	21,5	58,7	78,6	106,7	86,9	46,4	34,9	42,9
1985/86	17,6	16,7	14,8	15,2	13,2	9,7	10,5	39,6	36,4	24,0	15,1	12,6	18,8
1986/87	10,2	13,8	45,7	21,8	19,7	19,7	30,4	65,5	138,5	86,1	44,5	23,7	43,3
1987/88	13,5	13,9	17,3	60,8	54,9	29,9	48,3	144,3	172,1	141,8	64,1	31,4	66,0
1988/89	17,0	14,0	12,1	10,3	10,8	8,9	8,8	14,9	10,9	10,3	11,0	7,6	11,4
1989/90	6,6	9,2	7,7	8,8	14,8	17,9	27,0	64,0	39,4	16,8	10,1	8,5	19,2
1990/91	6,3	7,4	8,2	8,4	8,3	8,9	9,5	14,7	9,5	9,0	8,1	7,2	8,8
1991/92	6,5	11,4	16,4	25,2	18,0	26,3	27,2	65,2	70,9	64,3	31,4	17,9	31,7
1992/93	12,6	16,4	22,9	17,6	16,3	18,4	29,9	52,3	58,3	47,5	19,7	12,9	27,1
1993/94	13,1	32,0	26,3	15,7	14,1	13,7	16,1	28,4	35,2	24,4	10,3	9,7	19,9
1994/95	7,7	10,3	10,4	11,6	12,7	13,6	13,8	33,2	37,6	20,2	10,0	8,5	15,8
1995/96	7,3	10,0	10,7	10,9	10,1	12,0	9,1	24,6	18,4	9,4	9,0	8,2	11,7
1996/97	6,7	8,3	8,7	8,7	7,7	5,9	5,9	6,5	7,4	7,5	7,0	6,6	7,2
1997/98	5,9	8,7	40,3	23,6	28,4	34,1	31,3	63,0	120,3	141,7	46,8	19,8	47,0
1998/99	16,2	14,7	13,0	10,7	10,4	8 0	9,2	8,0	9,3	8,9	8,7	7,2	10,4
1999/00	6,2	8,3	9,2	9,1	11,2	16,3	24,8	40,3	31,3	15,6	9,7	8,4	16,0
2000/01	7,6	9,2	16,4	22,1	19,7	21,4	47,9	60,0	111,4	60,0	29,6	13,7	34,9
2001/02	10,6	12,1	11,0	14,1	17,4	17,7	32,2	45,3	92,7	37,4	18,0	10,1	26,5
2002/03	8,5	14,8	26,3	24,5	28,3	26,4	42,4	89,3	126,1	115,4	59,7	24,1	48,8
2003/04	13,0	15,3	15,8	15,0	13,3	12,6	19,5	41,9	32,8	24,0	11,2	9,1	18,6
2004/05	8,5	9,2	9,9	10,1	11,7	13,7	8,9	16,7	22,4	12,0	9,2	8,1	11,7
2005/06	6,5	9,8	27,7	17,5	25,7	32,0	44,9	102,5	156,8	136,8	98,7	13,8	56,1

Fuente: Elaboración propia

Derechos de Aprovechamiento de Aguas y Distribución de Recursos: Se ha contemplado que cada canal puede extraer una fracción alícuota del agua disponible en la segunda sección del río Aconcagua en función de los derechos de aprovechamiento de aguas que poseen. El caudal alícuota máximo permitido a extraer corresponde a los derechos inscritos.

El Cuadro 6.3-2 resume esta información para cada zona de riego. Tal como se mencionó anteriormente, se ha considerado que en el escenario con proyecto

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

parte de los derechos aprovechamiento de aguas de los canales Abajo de Catemu y Pepino (6 m³/s) se trasladan a la bocatoma del canal Arriba de Catemu, con el fin de favorecer la generación hidroeléctrica y disminuir las pérdidas del sistema.

CUADRO 6.3-2
DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS Y FRACCIÓN ALÍCUOTA CORRESPONDIENTE

Bocatoma y Canal	Zona de Riego	Escenario Sin Proyecto		Escenario Con Proyecto	
		Caudal Según Derechos (m³/s)	Fracción de Segunda Sección río Aconcagua (%)	Caudal Según Derechos (m³/s)	Fracción de Segunda Sección río Aconcagua (%)
Arriba Catemu (Futuro Canal Unificado)	Zona 1- 1	2,0125	5,93%	2,0125	5,93%
	Zona 1- 2	4,9124	14,48%	4,9124	14,48%
	Zona 2	0,0000	0,00%	5,0000	14,74%
	Zona 3- 1	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%
	Zona 3- 2	0,0000	0,00%	1,0000	2,95%
	Total	**6,9249**	**20,41%**	**12,9249**	**38,10%**
Abajo Catemu + Pepino	Zona 1- 1	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%
	Zona 1- 2	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%
	Zona 2	6,0000	17,68%	1,0000	2,95%
	Zona 3- 1	1,9436	5,73%	1,9436	5,73%
	Zona 3- 2	1,0564	3,11%	0,0564	0,17%
	Total	**9,0000**	**26,53%**	**3,0000**	**8,84%**
Total		**15,9249**	**46,94%**	**15,9249**	**46,94%**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos DGA.

Capacidades y eficiencias de conducción de cada tramo: En el Cuadro 6.3-3, se indica los valores de las capacidades y eficiencias de conducción de cada tramo de canal considerado, para los escenarios actual y futuro sin y con proyecto, respectivamente, los cuales fueron obtenidos de este mismo estudio.

CUADRO 6.3-3
CAPACIDADES Y EFICIENCIAS DE CONDUCCIÓN DE CADA TRAMO

TRAMO	Escenario Actual		Escenario Futuro Sin Proyecto		Escenario Futuro Con Proyecto	
	Capacidad Conducción	Eficiencia de Conducción	Capacidad Conducción	Eficiencia de Conducción	Capacidad Conducción	Eficiencia De Conducción
	(m^3/s)	(%/km)	(m^3/s)	(%/km)	(m^3/s)	(%/km)
1	2,51	93,2%	3,00	93,2%	12,92	100,0%
2	2,51	92,9%	3,00	92,9%	12,92	100,0%
3	2,10	72,0%	2,10	72,0%	2,10	72,0%
4	0,00	0,0%	0,00	0,0%	9,00	100,0%
5	0,00	0,0%	0,00	0,0%	12,92	96,7%
6	0,00	0,0%	0,00	0,0%	2,08	85,1%
7	9,00	100,0%	9,00	100,0%	9,00	100,0%
8	2,50	75,0%	2,50	75,0%	2,50	75,0%
9	3,00	90,0%	3,00	90,0%	3,00	90,0%
10	1,13	90,0%	1,13	90,0%	1,13	90,0%

Fuente: Elaboración propia

Un aspecto muy relevante a destacar que la distribución de los recursos tendrá como factores limitantes a los derechos de aguas (o su fracción alícuota correspondiente) y la capacidad de los canales

Demandas de Agua de Riego: En el modelo de simulación, las demandas de agua de riego se representan mediante las correspondientes tasas de riego ponderadas con respecto a la superficie de cada cultivo, expresadas en $m^3/ha/mes$. Estas tasas de riego, al ser multiplicadas por las superficies de cada zona, dan como resultado los volúmenes de agua demandados en cada mes. En el Cuadro 6.3-4 se indican las tasas de riego utilizadas para cada zona de riego y mes, para los escenarios actual, actual optimizado y con proyecto, respectivamente.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 6.3-4
TASA DE RIEGO PONDERADA[1] (m³/ha/mes)

SECTOR	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	TOTAL
	ESCENARIO ACTUAL												
1-1	624,2	0,0	0,0	0,0	0,0	125,7	996,1	1.993,9	2.741,6	2.887,3	2.351,3	1.702,3	13.422,4
1-2	624,2	0,0	0,0	0,0	0,0	125,7	996,1	1.993,9	2.741,6	2.887,3	2.351,3	1.702,3	13.422,4
2	531,2	0,0	0,0	0,0	0,0	133,0	1.095,9	2.200,9	3.031,4	3.154,2	2.460,1	1.750,8	14.357,4
3-1	513,1	0,0	0,0	0,0	0,0	118,0	949,6	1.900,6	2.721,1	2.880,8	2.053,9	1.288,0	12.425,1
3-2	513,1	0,0	0,0	0,0	0,0	118,0	949,6	1.900,6	2.721,1	2.880,8	2.053,9	1.288,0	12.425,1
	ESCENARIO FUTURO SIN PROYECTO												
1-1	610,8	0,0	0,0	0,0	0,0	123,5	972,8	1.943,7	2.667,3	2.805,2	2.287,7	1.659,5	13.070,5
1-2	610,8	0,0	0,0	0,0	0,0	123,5	972,8	1.943,7	2.667,3	2.805,2	2.287,7	1.659,5	13.070,5
2	521,7	0,0	0,0	0,0	0,0	125,0	1.042,6	2.098,4	2.887,6	3.013,3	2.428,8	1.727,7	13.845,0
3-1	505,1	0,0	0,0	0,0	0,0	109,7	882,4	1.764,1	2.526,1	2.694,1	2.013,0	1.272,6	11.767,1
3-2	505,1	0,0	0,0	0,0	0,0	109,7	882,4	1.764,1	2.526,1	2.694,1	2.013,0	1.272,6	11.767,1
	ESCENARIO FUTURO CON PROYECTO												
1-1	485,0	0,0	0,0	0,0	0,0	107,8	891,6	1.798,4	2.480,3	2.571,9	1.954,6	1.376,2	11.665,8
1-2	485,0	0,0	0,0	0,0	0,0	107,8	891,6	1.798,4	2.480,3	2.571,9	1.954,6	1.376,2	11.665,8
2	375,4	0,0	0,0	0,0	0,0	103,4	889,3	1.802,9	2.477,3	2.510,2	1.944,7	1.328,6	11.431,7
3-1	412,8	0,0	0,0	0,0	0,0	98,1	803,0	1.616,1	2.287,9	2.373,8	1.712,1	1.047,7	10.351,5
3-2	412,8	0,0	0,0	0,0	0,0	98,1	803,0	1.616,1	2.287,9	2.373,8	1.712,1	1.047,7	10.351,5

Fuente: Elaboración propia

Superficies de Cada Zona de Riego: En el Cuadro 6.3-5 se indica las zonas consideradas y sus correspondientes superficies bajo riego, diferenciadas según el canal con que se riega cada zona con y sin proyecto.

CUADRO 6.3-5
SUPERFICIES DE CADA ZONA

Canal	Zona de Riego	Superficie (ha)	
		Sin Proyecto	Con Proyecto
Arriba Catemu (Futuro Canal Unificado)	Zona 1- 1	382,9	382,9
	Zona 1- 2	934,6	934,6
	Zona 2	0,0	908,6
	Zona 3- 1	0,0	0,0
	Zona 3- 2	0,0	404,1
	Total	**1317,5**	**2630,2**
Abajo Catemu + Pepino	Zona 1- 1	0,0	0,0
	Zona 1- 2	0,0	0,0
	Zona 2	1090,4	181,7
	Zona 3- 1	785,4	785,4
	Zona 3- 2	426,9	22,8
	Total	**2302,6**	**989,9**
Total		**3620,1**	**3620,1**

Fuente: Elaboración propia

[1] Estos valores no consideran las pérdidas por conducción, las cuales se contemplan en la oferta de agua.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

Aporte Intermedio entre Bocatomas: De acuerdo con lo indicado en el estudio hidrológico, se evaluó el aporte intermedio promedio que se produce entre las dos bocatomas actuales, por concepto de afloramientos y derrames, el cual se fijó en el valor constante conservador de 0,50 m³/s. Estos recursos se reparten en forma alícuota entre los canales Abajo de Catemu, Pepino y Mercedes según los derechos que ingresan por la bocatoma común de ambos canales. Es por este motivo que en el escenario con proyecto la proporción de los primeros canales baja con respecto a la situación actual, debido a que parte de sus derechos son trasladados a la bocatoma del canal Arriba de Catemu (Cuadro 6.3-6).

CUADRO 6.3-6
DISTRIBUCIÓN APORTES INTERMEDIOS

Canal	Zona de Riego	Fracción Aportes Intermedios (%)	
		Sin Proyecto	Con Proyecto
Abajo Catemu + Pepino	Zona 2	61,9%	27,0%
	Zona 3- 1	20,0%	52,5%
	Zona 3- 2	10,9%	1,5%
	Total	**92,8%**	**81,1%**
Canal Mercedes		7,2%	18,9%

Fuente: Elaboración propia

Eficiencias de Captación de Bocatomas: En el escenario actual, ambas bocatomas pueden captar todo el caudal que requieran, por lo que se considera que su eficiencia es 1, la que se mantendría con el proyecto.

Coeficientes de Distribución de Caudal: A partir de los datos anteriores, se diseñaron una serie de coeficientes de distribución de caudal para efectuar los balances de entradas y salidas de caudal en cada punto, los que se ven limitados por los derechos de aprovechamiento de aguas y capacidades de los canales existentes, tanto en los escenarios sin y con proyecto. Estos factores se resumen en el Cuadro 6.3-7.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 6.3-7
COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL

ID	DESCRIPCIÓN	Coeficiente de Distribución (°/1)		Máximo Caudal posible de utilizar por capacidad de canal y Derechos (m³/s)	
		Actual y Futuro Sin Proyecto	Con Proyecto	Actual y Futuro Sin Proyecto	Con Proyecto
P1	Fracción de los derechos totales de la sección del río, que le corresponde al canal Arriba de Catemu.	0,2041	0,3810	2,5100	12,9249
P2	Fracción de los derechos totales de la sección del río, que le corresponde al canal Abajo de Catemu.	0,2653	0,0884	9,0000	3,0000
D1	Fracción del caudal captado por el canal Arriba de Catemu que le corresponde a la zona 1-1. (proporcional a la demanda anual)	0,2906	-	0,7294	-
D2	Fracción del caudal captado por el canal Arriba de Catemu que le corresponde a la zona 1-2. (proporcional a la demanda anual) D2= 1 - D1	0,7094	-	1,7806	-
D3	Fracción del caudal captado por el canal Abajo de Catemu que le corresponde a la zona 2. (proporcional a los derechos de aguas)	0,6667	0,3333	2,5000	1,0000
D4	Fracción del caudal captado por el canal Pepino o Huidobro que le corresponde a las zonas 3-1 y 3-2.(proporcional a los derechos de aguas) D4 = 1 - D3	0,3333	0,6667	3,0000	2,0000
D5	Fracción del caudal captado por el canal Pepino, que le corresponde a la zona 3-1. (proporcional a la demanda anual)	0,6479	0,9718	1,9436	1,9436
D6	Fracción del caudal captado por el canal Pepino, que le corresponde a la zona 3-2. (proporcional a la demanda anual) D6 = 1 - D5	0,3521	0,0282	1,0564	0,0564
F1-1	En escenario con proyecto, proporción del caudal captado por derechos de aguas que corresponde a Zona 1 - 1 en la bocatoma Arriba de Catemu	-	0,1557	-	2,0125
F1-2	En escenario con proyecto, proporción del caudal captado por derechos de aguas que corresponde a Zona 1 - 2 en la bocatoma Arriba de Catemu	-	0,3801	-	2,1000
F2	En escenario con proyecto, proporción del caudal captado por derechos de aguas que corresponde a Zona 2 en la bocatoma Arriba de Catemu	-	0,3869	-	2,0800
F3-1	En escenario con proyecto, proporción del caudal captado por derechos de aguas que corresponde a Zona 3-1 en la bocatoma Arriba de Catemu	-	0,0000	-	0,0000
F3-2	En escenario con proyecto, proporción del caudal captado por derechos de aguas que corresponde a Zona 3-2 en la bocatoma Arriba de Catemu	-	0,0774	-	1,0000

Fuente: Elaboración propia

6.4. SECUENCIA DE CÁLCULO DEL MODELO

El modelo desarrollado realiza los cálculos del balance mediante la secuencia que se indica en el cuadro 6.4-1. Cada uno de los 23 cálculos corresponde a una matriz de 56 años y 12 meses.

CUADRO 6.4-1
SECUENCIA DE CÁLCULO DEL MODELO

N°	ID	DESCRIPCION
1	Dda	Demandas mensuales de cada zona de riego, nivel predial (m^3/s), calculadas con las tasas de riego y superficies
2	Qo	Caudal total disponible de la sección del río Aconcagua, en m^3/s
3	Q1	Fracción del Caudal de cabecera del rio Aconcagua que le corresponde por derecho al canal Arriba de Catemu , en m^3/s
4	Q2	Fracción del Caudal de cabecera del rio Aconcagua que le corresponde por derecho al canal Abajo de Catemu, en m^3/s
5	Q4	Caudal captado por el canal Arriba de Catemu, en m^3/s
6	Q5	Caudal captado por el canal Abajo de Catemu, en m^3/s
7	Q 1-1	Caudal que llega a la zona 1-1, en m^3/s
8	P 1-1	Porcentajes de demanda suplida (%)
9	N 1-1	Número de años fallados
10	Q 1-2	Caudal que llega a la zona 1-2, en m^3/s
11	P 1-2	Porcentajes de demanda suplida (%)
12	N 1-2	Número de años fallados
13	Q2	Caudal que llega a la zona 2, en m^3/s
14	P zona 2	Porcentajes de demanda suplida (%)
15	N 2	Número de años fallados
16	Q 3-1	Caudal que llega a la zona 3-1, en m^3/s
17	P 3-1	Porcentajes de demanda suplida (%)
18	N 3	Número de años fallados
19	Q 3-2	Caudal que llega a la zona 3-2, en m^3/s
20	P 3-2	Porcentajes de demanda suplida (%)
21	N 3-2	Número de años fallados
22	Q gen	Caudal de generación de la central ,en m^3/s
23	Perd.	Pérdidas por conducción en todos los canales del sistema

Fuente: Elaboración propia

Las expresiones generales de cálculo son las siguientes:

$$Caudal\ captado\ al\ inicio = Min\ (Max, Qdisp, Qdda)$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.c.

En que:

Qmax: Capacidad de conducciór máxima, en m³/s

Qdisp: Caudal disponible, de acuerdo con la hidrología y la fracción que le corresponde a cada canal, en m³/s

Qdda: Caudal de demanda al inicio del canal, esto es, considerando las eficiencias de conducción entre la zona de riego y el inicio del canal.

La Seguridad de Riego se determina como el porcentaje de años en que se entregó un volumen menor de la demanda. Se calcula mediante la expresión siguiente:

$$SR = (N - Nf) \cdot \frac{100}{N} \ (\%)$$

En que:

SR Seguridad de Riego (%).

N: Número de años simulados

Nf: Número de años "fallados",

Para la determinación de "año fallado", se adopta el criterio de cálculo establecido en el Ley 18.450, esto es, que se considera año fallado a aquel en que en un mes se entregue menos del 85% de la demanda o cuando en dos meses consecutivos se entregue menos del 90% de la demanda.

6.5. RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS

El modelo se procesó para los escenarios actual, actual optimizado y con proyecto, obteniéndose los resultados que se han resumido en los Cuadro 6.5-1 y 6.5-2. Las planillas de cada escenario se entregan en el Anexo 6-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 6.5-1
SEGURIDADES DE RIEGO OBTENIDAS

Zona	Sup. Riego (ha)	Seguridad de Riego Escenarios (%)					
		Actual		Futuro Sin Proyecto		Futuro Con Proyecto	
		Sector	Ponderada X superficie	Sector	Ponderada X superficie	Sector	Ponderada X superficie
1-1	382.9	92,86	70,77	96,43	72,61	100	89,10
1-2	934.6	57,14		60,71		89,29	
2	1090.4	94,64		96,43		100	
3-1	785.4	55,36		55,36		83,93	
3-2	426.9	48,21		48,21		60,71	

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 6-2
PERDIDAS DE CONDUCCION PROMEDIO MENSUAL

Escenario	Pérdidas de conducción promedio mensual (m^3/s)
Actual	5,821
Futuro Sin Proyecto	6,142
Futuro Con Proyecto	1,951

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos se puede comentar lo siguiente:

En el escenario actual la seguridad de riego de la mayoría de las zonas es menor al 85%, solo destacando sobre ese valor las zonas 1-1 y 2. Esto indica que, en general, existen problemas relevantes de suministro de agua de riego para el sistema que se ha considerado en el análisis, especialmente en el canal Pepino o Huidobro.

Se observa que las fallas se producen principalmente en los meses de diciembre, enero y febrero. Los años en que se han registrado fallas corresponden a años secos o muy secos, como 1956. 1964, 1967, 1968, 1990, 1991, 1996 y 1997.

En el escenario futuro sin proyecto, se observa un leve aumento en la seguridad de riego en las zonas correspondientes a los canales Arriba y Abajo de Catemu, debido a que en este caso las tasas de riego son un poco menores, en relación al escenario actual, y la ampliación de la capacidad del canal Arriba al eliminar algunos puntos de saturación. No obstante, en la zona 3 no se registra un aumento de la seguridad de riego, lo que constituye una justificación importante para la realización del proyecto.

En el escenario con proyecto, la seguridad de riego de todas las zonas de riego se aumenta, alcanzando el 100% en las zonas 1-1 y 2, lo que de todas formas no representa un cambio significativo con respecto a la situación actual. El cambio más drástico se ve reflejado en las zona 3, el que de todas formas no alcanza para satisfacer de manera optima las demandas de los cultivos. Estos valores se producen por el aumento en la eficiencia de conducción del canal Arriba de Catemu, tramos 1 y 2 con revestimiento y por la conducción en tuberías o conductos de descarga que prácticamente no tienen pérdidas de conducción, como son los tramos 4. 5 y 6. No obstante, cabe destacar que el efecto del mejoramiento de la eficiencia de conducción se acota a los primeros 14 km.

En relación a las pérdidas de conducción promedio, se observa que los escenarios actual y futuro sin proyecto, aunque en este último aumentan por la mayor capacidad del Arriba de Catemu (2,51 m³/s actual a 3,0 m³/s). En tanto que en el escenario con proyecto, las pérdidas promedio se reducen drásticamente. Las menores pérdidas en la situación con proyecto se deben a la mayor eficiencia de conducción del canal Arriba de Catemu, el cual conduciría todo el caudal captado y tendría los tramos 1 y 2 revestidos.

Finalmente, en el Cuadro 6.5-3 se ha resumido los caudales promedio disponibles de oferta de agua y las demandas totales de cada escenario, a nivel predial. Se observa que en todos los escenarios, la oferta de agua promedio mensual supera ampliamente a la demanda de agua, lo que explica también las altas seguridades de riego actuales.

CUADRO 6.5-3
CAUDALES PROMEDIO DE OFERTA Y DEMANDA DE AGUA (m³/s)

Mes	Caudal Balance Promedio (m³/s)				
	Total Disponible en Río Aconcagua	Total Disponible (Q1 + Q2)	Demanda Total Esc Actual	Demanda Total Esc Futuro Sin Proyecto	Demanda Total Esc Futuro Con Proyecto
ABR	10,56	4,96	0,98	0,96	0,75
MAY	12,44	5,84	0,00	0,00	0,00
JUN	15,22	7,14	0,00	0,00	0,00
JUL	15,89	7,46	0,00	0,00	0,00
AGO	16,15	7,58	0,00	0,00	0,00
SEP	16,50	7,74	0,22	0,21	0,18
OCT	21,91	10,29	1,71	1,63	1,46
NOV	45,09	21,16	3,54	3,37	3,04
DIC	63,83	29,96	4,77	4,54	4,08
ENE	45,95	21,57	5,01	4,78	4,20
FEB	24,32	11,42	4,27	4,19	3,50
MAR	14,12	6,63	2,67	2,62	2,11
ANUAL	25,16	11,81	1,93	1,86	1,61

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CAPÍTULO 7

PREDISEÑO DE OBRAS

7. PREDISEÑO DE OBRAS

7.1. GENERALIDADES

En función de lo presentado en el Capítulo 4 se procedió a desarrollar a nivel de prefactibilidad la alternativa 4 seleccionada utilizando todos los antecedentes de estudios básicos recopilados y desarrollados, y que fueron mostrados anteriormente en el Capítulo 3.

El prediseño básicamente es una obra de captación en el río y un canal de conducción de 16 km con una capacidad de 13,0 m³/s que cumple la función de trasportar el agua para riego y además al final de estos 16 km aprovechar la caída y generar electricidad con los excedentes en verano y con la totalidad del caudal fuera de la temporada de riego. Se han pensado todas las obras de arte a reponer producto del aumento de capacidad en estos 16 km como además del prediseño de la minicentral y su canal de descarga al estero Catemu. Además se considero el prediseño de abovedamiento de 1,7 km del canal Abajo de Catemu y 1,6 km del canal Arriba de Catemu. En este contexto, se desarrollaron las memorias de cálculo para el adecuado dimensionamiento que permitió la cubicación, presupuesto y confeccion de los planos que se presentan en el Volumen 6 del proyecto. Adicionalmente a esto se analizó los costos de expropiaciones de los terrenos a utilizar con las obras y el análisis preliminar de los costos ambientales. Además se consideraron las necesidades e inquietudes de los regantes señaladas en la primera reunión de participación ciudadana. Finalmente se desarrolló una evaluación económica considerando los costos de las obras, el beneficio agrícola producto de la seguridad dada por las nuevas obras y los beneficios de la generación hidroeléctrica.

7.2. SOLUCIÓN DEFINITIVA

7.2.1. Introducción

En este acápite se describe la solución adoptada para el mejoramiento de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, incluyendo un proyecto de minicentral hidroeléctrica ubicada a la salida del Túnel 2. En el Plano GN-1 "Plano General de Obras" se presenta una planta del trazado de las obras que se incluyen en este proyecto, con el que se puede apreciar en forma global la solución adoptada. En los siguientes acápites se presenta una completa descripción de las obras diseñadas a nivel de prefactibilidad. El detalle de las obras se presenta en el Acápite 7.6 y el los planos de obras en el Vol. 6.

7.2.2. Bocatoma Canal Unificado

En el contexto del aumento de la capacidad del canal se consulta el mejoramiento y el acondicionamiento de la captación y bocatoma para recibir los 13 m³/s que serán porteados por el nuevo Canal Unificado, para lo cual se mejoraron las siguientes obras:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Manga de aducción:** Se consulta el refuerzo y peralte de la maga de aducción, esto tiene la finalidad de dar seguridad a la bocatoma y además aumentar la capacidad de captación del canal matriz, llegando a los 13 m³/s que por derecho deberán sacar.

- **Desripiador y compuertas de descarga:** Se considera pertinente construir un desripiador que pueda atrapar el sedimento grueso de fondo que pueda entrar por la aducción, para ello se considera un canal de fuerte pendiente y unas compuertas de descarga al río que tengan la capacidad necesaria para descargar como máximo los 13 m³/s.

- **Compuertas de admisión y aforador:** Adicionalmente se consulta la reposición de las compuertas de admisión acorde a la nueva capacidad del canal, además se dotara al canal de un aforador de barrera triangular aguas abajo de dichas compuertas.

- **Vertedero de emergencia:** Se consulta en caso de emergencia que la manga de aducción mejorada funciones como un vertedero lateral de 100 m de largo justo antes del desripiador, esta obra tiene como objetivo amortiguar posibles crecidas de deshielo al inicio de la temporada de riego.

El detalle de las obras se puece ver en los planos DET-1 y DET-2.

7.2.3. Ampliación y Mejoramiento del Canal Unificado y del Canal Arriba de Catemu

Con la finalidad de portear los 13 m³/s por el Canal Unificado se consulta ampliar el Canal Arriba de Catemu para aumentar su capacidad en sus primeros 16,05 km, desde la bocatoma hasta la descarga a la MCH, ubicada en la salida del Túnel 2. Desde el Km 16,175 hacia aguas abajo seguirá correspondiendc al Canal Arriba de Catemu, canal que se diseña para un caudal de porteo de 2,1 m³/s.

En cuanto a los mejoramientos a realizar, se contempla para el Canal Unificado:

- El revestimiento desde el Km 0,00 hasta el Km 13,70. Se considero una geometrai trapecial, ell revestimiento de la sección se consulta en hormigón simple.

- El abovedamiento desde el Km 13,70 hasta el Km 16,05. Dicho abovedamiento se realizará con una estructura rectangular doble cajón de H.A. recomendada en el Manual de Carreteras VOL.4

- Aumento de capacidad de los tuneles N°1 y N°2 para portear 13 m³/s, dicho aumento de capacidad se realizó aumentando la sección del tunel, se considero el fortificando la nueva bóveda.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En cuanto a los mejoramientos a realizar, se contempla para el Canal Arriba de Catemu el abovedamiento desde el Km 16,175 hasta el Km 17,7. Dicho abovedamiento se realizará con una estructura rectangular sección simple de H.A. recomendada en el Manual de Carreteras VOL.4. El detalle de las obras se puede ver en los planos OBR-1, DET-06 y DET-07.

7.2.4. Mejoramiento del Canal Abajo de Catemu

Se contempla el abovedamiento del Canal Abajo de Catemu, desde el Km 16,1 hasta el Km 17,8, para un caudal de porteo de 2,5 m³/s. Dicho abovedamiento se realizará con una estructura rectangular sección simple de H.A recomendada en el Manual de Carreteras VOL.4. El detalle de las obras se puede ver en los planos OBR-2.

7.2.5. Descargas de Agua Lluvia

Se considera realizar una obra de descarga al canal en los sectores donde cruzan quebradas de relevancia, se considera como criterio práctico tipificar la obra en función del caudal descargado. En el Cuadro 7.2.5-1 se muestra la ubicación de dichas descargas:

CUADRO 7.2.5-1
UBICACIÓN DE DESCARGAS AL CANAL
T = 20 AÑOS

Codificación	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Kilometraje (m)	CAUDAL (m³/s)
Q_1	318.119	6.372.458	14,815	0,59
Q_2	318.624	6.372.551	14,260	1,26
Q_3	318.768	6.372.569	14,110	0,64
Q_4	319.220	6.372.513	13,550	1,62
Q_5	319.563	6.372.324	13,200	5,16
Q_6	319.598	6.372.234	13,100	1,3
Q_7	319.646	6.372.110	13,000	0,71
Q_8	319.602	6.371.971	12,860	0,44
Q_9	320.026	6.371.690	12,680	0,16
Q_10	320.444	6.371.544	11,040	1,61
Q_11	321.052	6.371.819	9,570	0,33
Q_12	326.740	6.373.545	1,45	0,2
Q_13	326.740	6.373.545	1,255	0,2

Fuente: Elaboración propia

El detalle de las obras se puede ver en los planos OBR-3.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Además producto de la descarga de estas quebradas se producen incorporaciones de caudal en el canal los que en periodos de crecidas deben ser evacuados al río, según las especificaciones de la Dirección de Obras Hidráulicas dichas descargas deben ser cada 5 km como máximo, para lo cual y según el caudal que ingresa al canal se considera descargar en los siguientes puntos:

- **Descarga N°1, aguas arriba túnel N°1 (Km 5,51):** Se diseña para un caudal de 6 m³/s. Dicha descarga se proyecta además como elemento de seguridad en el caso que el túnel se obstruya.

- **Descarga existente, sector Reinoso (Km 8,97):** Se amplía para un caudal de diseño de 9,4 m³/s.

Desde el Km 9,0 hasta el Km 15,7 se considera descargar los aportes de agua lluvia directamente al canal, como verificación se calcularon los aportes al canal entre los kilometrajes antes mencionados encontrando que los caudales para T=20 años sumados para las once quebradas en el sector totalizan 13 m³/s que correspondería a la capacidad del nuevo Canal Unificado, por lo que se requiere que en caso de fuertes lluvias se cierre la bocatoma. Estas aguas lluvias se evacuarán por el rápido de descarga de la mini central aguas, ubicada en el Km 16,1, abajo del túnel N°2. El detalle de las obras se puede ver en los planos DET-3, DET-4 y DET-5.

7.2.6. Entregas a Riego en Nuevo Canal

Se consulta reponer las entregas a riego existentes el tramo del nuevo canal revestido, para ello se considera una obra de entrega lateral al canal con una compuerta que conecta a un canal rectangular con un aforador de barrera triangular. En el Cuadro 7.2.6-1 se muestra la ubicación de dichas obras. El detalle de las obras se puede ver en los planos OBR-4.

CUADRO 7.2.6-1
UBICACIÓN DE ENTREGAS PREDIALES A RIEGO

N°OBRA	Kilometraje
1	1,45
2	7,23
3	7,4
4	8,9
5	12,8
6	13,35

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.2.7. Otras Obras en el Canal

Se considera además reponer los puentes y pasarelas que en su minuto queden inutilizados con el mejoramiento de los canales. En el Cuadro 7.2.7-1 se muestra la ubicación de dichas en donde se utilizó un diseño recomendado por el Manual de Carreteras del MOP Vol. El detalle de las obras se puede ver en los planos OBR-5.

CUADRO 7.2.7-1
UBICACIÓN DE PUENTES PREDIALES

N°OBRA	Kilometraje
1	0,52
2	1,26
3	1,68
4	3,62
5	4,27
6	7,22
7	8,02
8	12,93
9	13,28

Fuente: Elaboración propia

7.2.8. Obra de Entrega Desde Canal Unificado a Canales Abajo Catemu y Pepino

Se considera en el Km 5,7 la entrega desde el Canal Unificado hacia los canales Abajo de Catemu y Pepino con una capacidad de 7,5 m³/s para descargar parte de los derechos, para lo cual se proyecta una obra civil que se compone de una entrega una descarga tipo rápido abierto, un canal conductor y la entrega a los canales Abajo de Catemu y Pepino. El detalle de las obras se puede ver en los planos DET-8.

7.2.9. Ampliación y Mejoramiento de Túneles N°1 Y N°2

Se contempla la ampliación y mejoramiento de los dos túneles 1 y 2 (existentes), dicho mejoramiento está condicionado a las características geológicas de la roca que da sostenimiento a los túneles, dada la falta de información geológica del trazado de los tuneles se considera el refuerzo completo de este con reticulados de acero cada 5 m con malla y shotcrete, se debe dejar en claro que esta solución deberá ser estudiada con más detenimiento en las posteriores etapas de factibilidad y diseño del proyecto realizando las prospecciones adecuadas y los estudios geológicos para caracterizar la roca en todo el trazado de ambos tuneles. La ampliación para ambos túneles será tal que puedan portear un caudal de 13 m³/s. El detalle de las obras se puede ver en los planos DET-6 y DET-7.

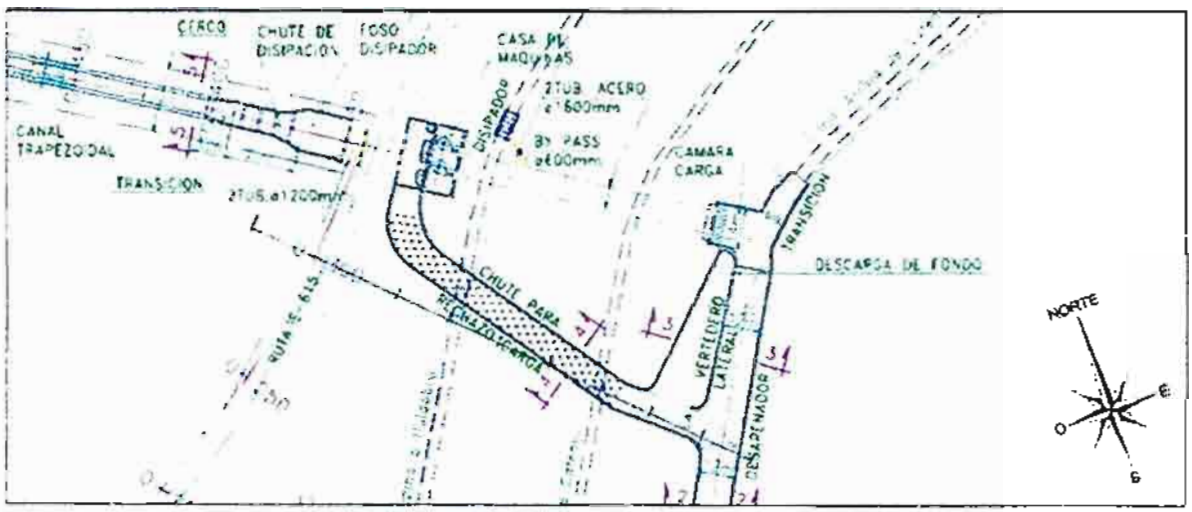
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.2.10. Minicentral Hidroeléctrica (MCH)

Cion el objeto de maximizar las utilidades del proyecto hidroeléctrico, se estudio de rentabilidad de cuatro opciones de potencia asociadas a cuatro posibles capacidades de canal alimentador a la central, considerando la inversión correspondiente en infraestructura de conducción, los resultados arrojaron que la opción más rentable en términos de potencia, generación de energía y rentabilidad es la que tiene la potencia mayor, es decir, la de 8,3 MW, con un canal alimentador con capacidad de 13 m³/s.

En la Figura 7.2.10-1 se presenta una imagen de planta de la MCH.

FIGURA 7.2.10-1
IMAGEN PLANTA MINICENTRAL HIDROELÉCRICA



Fuente: Elaboración propia

En lo que sigue se describen las obras que componen a la MCH.

- **Canal De Aducción:** La obra de toma de este proyecto se presenta en el Km 16,05 del Canal Unificado, como una bocatoma de tipo lateral, y que posee un sumidero en la parte lateral, extrayendo solo el caudal de diseño para la MCH, igual a 12,92 m³/s.

- **Desarenador:** Luego de conducir las aguas por el canal de aducción, el agua disminuye su velocidad, producto de un ensanchamiento del canal en el desarenador, el que tiene por fin hacer decantar las partículas de arena, para posteriormente eliminarlas por la descarga de fondo.

- **Vertedero de Excedencia:** El vertedero de excedencia tiene por finalidad eliminar el excedente de caudal proveniente del canal de aducción, en los instantes de

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

tiempo en que superen los 12,92 m³/s. El vertedero de excedencia entrega sus aguas al vertedero de rechazo de carga.

- **Vertedero de Rechazo de Carga:** El vertedero de rechazo de carga constituye una medida de protección, que permite el desvío de las aguas desde el inicio del canal desarenador hacia la cámara de descarga de las turbinas de forma directa, en caso de que se deba suspender el flujo de agua por la cámara de carga. En su entrada se diseñan dos compuertas, que en operación normal se mantendrán cerradas. En su recorrido posee dientes de hormigón armado que disipar la energía del agua conforme baja por el vertedero para llegar de manera suave a la cámara de descarga.

- **Cámara de Carga:** Corresponde a la sección final del canal de desvío, justo antes de entrar a las tuberías de presión. Se diseña de manera que las tuberías se mantengan siempre a presión, y con una altura de carga suficiente que evite la formación de vórtices que introduzcan burbujas de aire en la tubería.

- **Tuberías de Presión:** Desde la cámara de carga, el caudal es transportado hacia las turbinas a través de dos tuberías de presión en acero de 1.600 mm cada una. Las tuberías se proyectan sobre el terreno ancladas mediante dados de hormigón armado, pasan el Canal Abajo de Catemu, por encima soportada mediante dados de anclaje para luego enterrase metros antes del canal Pepino y para llegar a cada una de las turbinas.

  Desde una de las tuberías de presión se consulta una tubería de desvío hacia el Canal Abajo de Catemu de 800 mm, a través de una cámara con válvula de regulación, y otra para el Pepino, de 600 mm.

  Todas las tuberías están proyectadas en diámetro, espesores y calidad de acero necesaria para soportar las presiones y minimizar las pérdidas de carga.

- **Casa de Maquinas:** La Casa de Máquinas, de estructura de hormigón armado en cuatro niveles, considera la instalación de dos turbinas Francis: Turbina A de 5,5 MW y Turbina B de 2,8 MW, con todo los equipamientos de generación, control y transformación. Se diseña con un puente grúa para el montaje y mantenimiento de los equipos electromecánicos.

- **Foso y Chute de Disipación:** Las aguas turbinas son conducidas desde la descarga hacia un foso y chute de disipación mediante cuatro tuberías de acero enterradas, que permiten pasar por debajo del camino público. El foso y el chute de disipación tienen por finalidad aquietar las aguas a la entrada del canal de descarga.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Canal de Restitución:** El canal de restitución es una sección trapezoidal de hormigón armado que conecta la salida del chute de disipación y el Estero Catemu. Se proyecta con una longitud de 1,3 km.

Este canal se diseña para una capacidad máxima de 13,0 m³/s, donde retorna la integridad del flujo a su cauce sin generar mayores efectos sobre el mismo. El detalle de las obras se puede ver en los planos MCH-1 y MCH-2.

7.3. BASES DE DISEÑO

En este acápite se presentan las bases de diseño de las distintas obras que componen la solución adoptada, descrita anteriormente en el Acápite 7.2.

7.3.1. Caudal de Diseño

El caudal por derecho de los canales en proyecto es el que se presenta en el Cuadro 7.3.1-1.

CUADRO 7.3.1-1
CAUDALES POR DERECHO, CANALES EN PROYECTO

Canal	Regadores	Equivalencia en L/s
Arriba de Catemu	260 (*)	7.800
Abajo de Catemu	200 (*)	6.000
Pepino	-	3.000 (**)
Total de Derechos		**16.800**

(*) Derechos inscritos en el CBR de San Felipe
(**) Capacidad del canal Pepino según Estudio SDT Nª165 – DGA – 2004

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente el canal Abajo Catemu vendió derechos por 828 L/s a ESVAL, los cuales extraerán sus aguas en la tercera sección del rio. Por lo tanto el caudal disponible según derecho será 12,92 m³/s.

Según carta del 01 de diciembre del 2011 los regantes de los canales abajo de Catemu y Pepino solicitaron trasladar parte de sus derechos a la bocatoma unificada, dejando en su ubicación actual 3 m³/s; correspondiéndole 1 m³/s al canal Abajo de Catemu y 2 m³/s al canal Pepino. Por lo que el caudal máximo posible de diseño de Canal Unificado seria 13 m³/s, canal que corre por el actual canal Arriba de Catemu, desde la bocatoma unificada (Km 0,0) hasta la salida del Túnel 2, lugar donde se encuentra la entrega a la MCH (Km 16,1).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Por otro lado, al caudal de diseño del canal Unificado Arriba de Catemu hasta la MCH se define a partir del la evaluación económica realizada en el Capítulo 4, referente al análisis de alternativas, para los caudales de diseño 7, 9, 11 y 13 m³/s, donde se recomienda finalmente el diseño del canal unificado hasta la MCH y diseño de la MCH para un caudal de 13 m³/s, ya que es el caudal que otorga un mayor VAN para los costos y beneficios variables.

En el Cuadro 7.3.1-2 se presentan los caudales de diseño de las obras en proyecto.

CUADRO 7.3.1-2
CAUDALES DE DISEÑO DE OBRAS

Obra	Km	Caudal de Diseño (m³/s)
Canal Unificado	0,00 - 16,05	13
Canal Arriba de Catemu	16,05 - 17,80	2,1
Canal Abajo de Catemu	16,05 - 17,80	2,5
Minicentral Hidroeléctrica	16,05	13
Canal de Restitución	-	13
Túnel 1	5,51 - 5,68	13
Túnel 2	15,80 - 16,00	13
Descarga de aguas lluvias N°1	5,40	6,0
Descarga de aguas lluvias N°2, Reinoso	9,00	9,4
Entrega desde Canal Unificado a Canales Abajo Catemu y Pepino	5,70	6,6
Entrega desde la cámara de carga de la MCH a Canal Abajo de Catemu	16,05	1,9
Entrega desde el PENSTOC de la MCH a Canal Pepino	16,05	0,7

Fuente: Elaboración propia

7.3.2. Bases de Diseño Hidráulico

7.3.2.1. Dimensionamiento del Canal

Los prediseños de todos los canales del proyecto se realizan a través del software HEC-RAS.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.3.2.2. Revestimiento y Sección de Canal

En los siguientes puntos se presenta el revestimiento y secciones consideradas para cada canal.

Canal Unificado:

- Revestimiento desde el Km 0,00 hasta el Km 13,70. El revestimiento de la sección se consulta en hormigón simple, dicha solución resulta ser la más atractiva frente al revestimiento con mampostería de piedras o losetas de hormigón armado, razón de esto es la durabilidad del hormigón frente a posibles impactos y acciones de tipo sísmicas, además se debe considerar su mejor rugosidad frente a la albañilería de piedras lo que optimiza el caudal de porteo. La sección óptima a considerar resulta ser trapecial con taludes con inclinación en 45° en los sectores con buena calidad geotécnica del suelo, no así en los sectores que presenta problemas de estabilidad el borde, en estos casos se considera una sección rectangular de hormigón armado, pensando que los muros funcionan comc muros de contención.

- Abovedamiento desde el Km 13,70 hasta el Km 16,05. Dicho abovedamiento se realizará con una estructura rectangular doble cajón de H.A. Esta solución resultó más atractiva que instalar tuberías de gran diámetro, pese a que los costos de la tuberia son menores, los aspectos contrucctivos de instalación de tubos de gran tamaño en ladera resultar ser mucho mas complejos que los utilizados universalmente en hormigón, además hay que agregar la facilidad de limpieza interna del cajón no asi la tuberia, donde se hace difícil realizar limpiezas transitando por dentro del tubo.

Canal Arriba de Catemu:

- El abovedamiento desde el Km 16,2 hasta el Km 17,8. Dicho abovedamiento se realizará con una estructura rectangular sección simple de H.A, por las razones mencionadas en el párrafo anterior.

Canal de Restitución:

- Se consulta revestimiento en hormigón simple, con sección trapecial con taludes con inclinación en 53°.

7.3.2.3. Pendientes

Primeramente se eliminan los puntos altos existentes inicialmente, y el escurrimiento debe quedar alejado de la crisis en todo el trazado. De no ser posible adoptar

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

una pendiente tal que el escurrimiento quede alejado de la crisis se deben colocar gradas para que esto sea posible.

7.3.2.4. Minicental Hidroeléctrica

Las bases de diseño para la MCH se presentan en el Acápite 7.8, denominado "Proyecto de Minicentral Hidroeléctrica".

7.3.3. Recomendaciones de Mecánica de Suelos

Las recomendaciones de diseño relativas a la mecánica de suelos se extrajeron del "Informe de Mecánica de Suelos" presentado en el Capítulo 3 de este estudio. En este acápite se presentan las principales recomendaciones que se pueden extraer de este informe.

7.3.3.1. Capacidad de Soporte de Fundaciones

Se estudió en forma separada para todos los sectores las dimensiones mínimas

Los tipos de fundación posibles para las estructuras proyectadas son:

- ***Cimientos corridos y zapatas aisladas:*** El ancho mínimo para cimientos corridos será de 0,5 m y para zapatas aisladas será de 1,0 m. La profundidad mínima de enterramiento de las fundaciones será de 1,0 m bajo el nivel máximo de socavación.
- ***Losa de fundación:*** La losa de fundación será de hormigón armado con un área en planta por lo menos igual a la planta del conjunto de estructuras, con un espesor no inferior a 0,2 m. El cálculo estructural definirá el espesor final de la losa. La profundidad mínima de enterramiento de la losa será de 1,0 m bajo el nivel máximo de socavación.

Para la ejecución de fundaciones será necesario el desvío del agua y el agotamiento de napa.

En el caso que se detecten rellenos artificiales se deberá profundizar las excavaciones hasta alcanzar el suelo natural y penetrar en él un mínimo de 0,20 m. Cualquier sobrexcavación que se produzca por la condición anterior o para alcanzar el suelo de fundación recomendado o por cualquier otra causal, deberá ser rellenada con hormigón pobre de 85 kg (2 bolsas) de cemento por metro cúbico de mezcla.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Ninguna fundación podrá tener una presión de contacto, para el caso estático, mayor que 50 t/m^2. Para los efectos de combinación de carga estática permanente más eventual (sísmica) el valor de q_{ad} podrá aumentarse en un 50%.

7.3.3.2. Asentamiento de Fundaciones

El asentamiento máximo total admisible de cada fundación (fundaciones corridas y/o aisladas) individual se recomienda que no sea superior a 1/400 de la distancia entre ejes paralelos de los muros considerados. Este asentamiento así calculado garantiza una distorsión angular de muros en su plano vertical inferior a 1/600, si se supone que el asentamiento máximo diferencial es igual a 2/3 del máximo total.

En cualquier caso ninguna fundación corrida o aislada podrá tener un asentamiento total calculado para cargas permanentes superior a 2,0 cm. La losa en tanto, no podrá presentar asentamientos totales mayores que 6,0 cm.

7.3.3.3. Estabilidad de Taludes

a) Cortes en Tramo entre Bocatoma y Km 13,7, y entre Km 17,5 en Adelante

Según se observa de la estratigrafía, los taludes de corte se excavarán en arenas arcillosas, arcillas arenosas y limos arenosos, y es probable que en la parte inferior de su altura, alcance roca. Dado que la situación más desfavorable se dará en los sitios donde el talud es completamente de suelo, los análisis y recomendaciones se avocarán a esa situación.

Se analizó un talud de 10 m de altura con inclinación de 63° y pendiente natural del cerro 30°, obteniéndose un factor de seguridad estático de 1,473, que es aceptable. El coeficiente sísmico de fluencia en tanto, fue de 0,26, el cual también cumple con los criterios normales de aceptación.

Estos análisis fueron efectuados sin considerar napa, pues no existe, y el agua que pudiese correr por los taludes en invierno, no alcanza a crear un nivel freático. Confirma lo anterior, el hecho de no haber encontrado presencia de agua en ninguno de los pozos.

Para los casos en los cuales el cerro efectivamente porte con un caudal de napa, se permitirán taludes de corte de máximo 45°.

Para taludes de corte en roca, se recomienda considerar una inclinación de 80°.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

No se recomiendan bermas en el talud ni a nivel del borde interior del cana, puesto que en la práctica se ha demostrado que el agua lluvia tiende a formar charcos en estas irregularidades, la cual se infiltra hacia el interior del suelo formando grietas y provocando el derrumbe del talud.

Cuando el talud tenga una altura mayor a 8 m, deberán considerarse contrafosos revestidos a una distancia de 5 a 8 m del borde del talud. Las bajadas de agua desde los contrafosos deben ser debidamente canalizadas y revestidas.

b) Cortes en Tramo entre Km 13,7 y Km 17,5

El análisis de estabilidad para este caso en encuentra en el capitulo 3 de este estudio. El factor de seguridad estático fue de 1,361 para los taludes de corte en maicillo. Si bien es cierto, lo anterior indica que es estable estáticamente hablando, la experiencia indica que ocurren fenómenos de deslizamiento de planchones que finalmente reducen la pendiente a valores cercanos a los 45°. Por esta razón se recomendará para taludes de corte inferiores a 4 m, un máximo de pendiente de 56° y para cortes mayores, 45°.

c) Taludes Paredes del Canal

Actualmente, los taludes presentan una inclinación casi vertical para alturas de 1,2 a 1,5 m, siendo satisfactorio su comportamiento a la fecha, razón por la cual se podrá mantener esta situación en el talud de borde hacia el valle, para alturas proyectadas similares. El análisis de estabilidad para estos cortes verticales se presentó anteriormente en el Anexo 3-5, para cada material detectado en las paredes del canal. Los factores de seguridad estáticos obtenidos fueron de 1,7 y 2,8, y las aceleraciones de fluencia correspondientes a cada perfil, son de 0,35 y 0,95 g.

Idealmente el talud del lado del cerro, debe continuar con la pendiente del talud de corte. En los sectores donde no existe corte del cerro, el talud del costado interior del canal debe mantenerse con la misma pendiente actual.

Dado que lo anterior obliga a realizar grandes cortes para mantener la inclinación, que las alturas consideradas para los canales del proyecto, varían entre 1,4 y 3,6 m, y que se precisa de una sección estandarizada, se recomienda alternativamente una inclinación de 56° respecto de la horizontal para cortes de hasta 4,0 m de altura.

d) Sostenimiento de Taludes Mediante Refuerzo Mecánico

Para taludes de corte permanentes que superen las inclinaciones máximas permitidas en los casos anteriores, se deberá estabilizar el terreno mediante refuerzo mecánico, es decir, soil nailing.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

e) Excavaciones Temporales

Para taludes de corte temporales para construir estructuras subterráneas, se podrá evitar la entibación si el corte se realiza con una inclinación máxima de 56° respecto de la horizontal. Si por razones de espacio fuese necesario hacer cortes más verticales, se deberán construir pilas de entibación arriostradas mediante puntal o tirante, dependiendo de la altura a sostener.

7.3.3.4. Agotamiento de Napa

El proyecto considera estructuras fundadas bajo el nivel de agua, por lo cual para su construcción será necesario desviar el canal original y probablemente agotar el nivel de agua. Se considerará una depresión de la napa hasta al menos 0,5 m por debajo de la excavación más profunda.

Se recomienda considerar una permeabilidad del suelo de 10^{-5} m/s para fines de diseño del sistema de agotamiento.

El agotamiento de la napa para rebajar su nivel, se podrá realizar directamente desde pozos desde la superficie del terreno. Se recomienda que se ubiquen estos pozos a unos 2,0 m del sitio a agotar y espaciados a no más de 8,0 m entre sí. El sistema mínimo estará constituido de un pozo de agotamiento y otro de medición del nivel de napa, al otro lado del sector a agotar. En el pozo de inspección se deberá verificar que el nivel de napa se encuentre al menos 0,5 m por debajo de la excavación más profunda.

Los pozos de agotamiento deberán alcanzar una profundidad de 1,5 m por debajo del sello de la fundación. El agotamiento, una vez comenzado, se deberá mantener hasta que cálculo indique que el peso de la estructura es suficiente para aplacar la subpresión. Se deberá contar con grupos electrógenos de emergencia, de manera que el sistema de agotamiento no se detenga cuando ocurran cortes de energía.

7.3.3.5. Recomendaciones de Construcción

La construcción de las fundaciones y radieres se atendrá a las recomendaciones siguientes:

1) Las excavaciones para fundaciones podrán ser realizadas a máquina o manualmente con taludes verticales hasta una altura máxima de 1,5 m. De ahí en adelante deberá ata udarse respetando un ángulo de 56° respecto de la horizontal. Los últimos 0,10 m antes de llegar al sello de excavación, deberán ser realizados manualmente con el propósito de obtener un sello libre de material suelto, removido o perturbado.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2) En excavaciones profundas para fundaciones, se podrá utilizar un mejoramiento de hormigón pobre para alcanzar el sello de fundación. También se podrán utilizar hormigón pobre en las zonas de relleno que sea difícil compactar o donde se requiera obtener alguna forma determinada.

3) El hormigón pobre se preparará en betonera con la cantidad de agua suficiente para darle una trabajabilidad compatible con la colocación. La dosis de cemento será de por lo menos 85 kg (2 bolsas) de cemento por cada metro cúbico de mezcla y, una vez colocada, se compactará con vibrador de inmersión o pisón manual. Se podrá utilizar hasta un 30% de bolón desplazador en el hormigón pobre.

4) Las fundaciones se hormigonarán directamente contra las paredes de la excavación cuando ello sea posible.

5) Los terraplenes compactados se construirán con suelo de tamaño máximo 4" y contenido de finos bajo 0.080 mm entre 5 y 30%, que se compactará mediante a lo menos 6 pasadas de rodillo vibratorio de peso estático mínimo 2 ton, en capas de espesor suelto de 30 cm., hasta alcanzar una densidad equivalente al 95% de la densidad máxima seca dada por el ensayo de Proctor Modificado. El sobreancho será de 1,5 m, medidos en el nivel superior, desde el borde de la estructura a contener. El talud máximo de terraplén será de 33° respecto de la horizontal.

6) Los rellenos tras los muros se realizarán con material de procedencia local, limitado a un tamaño máximo no superior a 4". El relleno se colocará en capas sueltas de 20 cm de espesor y se compactará mediante a lo menos 6 pasadas de placa para no inducir tensiones excesivas sobre los muros. En este relleno, no se debe apoyar ninguna estructura.

7) Las tuberías sobre las cuales no se proyecta sobrecarga, se deberán proteger mediante un relleno de suelo que las cubra. El espesor de dicho relleno será de aprox. 1,0 m. El valor final lo deberá estimar el proyectista considerando las especificaciones del fabricante.

8) En caso que sobre la tubería se proyecten cargas como por ejemplo el paso de vehículos, se deberá considerar la construcción de alguna estructura que la proteja de dicha carga.

Cualquier situación no prevista en el presente informe o cualquier modificación que se desee realizar a su contenido, deberá ser consultada y aprobada por los que suscriben.

Mª Luisa Santander 0231, Providencie, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.3.4. Bases de Diseño Estructural

7.3.4.1. Introducción

El diseño de los elementos de hormigón armado se realiza usando el método a rotura recomendado por el ACI. Se considera un hormigón H25 con una tensión admisible de 80 kg/cm^2 y aceros: A44-28H con una tensión admisible de.1680 kg/cm^2 y A63-42H con una tensión admisible de 2300 kg/cm^2.

En el caso del prediseño de las losas de cruce de canal, se utilizaron las recomendaciones de la Norma ASSHTO para determinar cargas de servicio que debieran soportar las losas.

La capacidad de soporte de asentamiento del suelo, los empujes sobre muros se obtienen del informe preparado para esta consultoría. En ese documento se indican directamente las fórmulas a emplear y las recomendaciones para determinar la capacidad de soporte de fundaciones, asentamiento para cargas permanentes, asentamiento para cargas sísmicas, constante de balasto, giros de fundaciones, flotabilidad de la estructura, y los empujes sobre muros que presentan y que no presentan restricción al movimiento.

7.3.4.2. Enfierradura

Solo se presen tan planos de arquitectura y de forma, sin presentar planos de enfierradura. Las cuantías se determinan sólo a nivel de memoria cálculo para su posterior cubicación y valorización en los estudios posteriores.

7.3.4.3. Recubrimientos

Se recomiendan recubrimientos de las obras hidráulicas de 5 cm, salvo indicación en contrario del proyectista.

7.3.4.4. Túneles

No se tienen antecedentes suficientes referentes a la calidad de la roca por donde pasan los túneles, por lo que para efectos de diseño se ha supuesto la condición más desfavorable, que es la necesidad de fortificación de los túneles, consistiendo en el revestimiento interior con shotcrete y refuerzo con arco reticulado de acero.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.4. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE REVESTIMIENTO DE CANALES

7.4.1. Generalidades

En función de la ubicación de la minicentral hidroeléctrica, el trazado del canal matriz tiene un largo de 16 km. Debido a la alta inversión que considera un canal de esta magnitud se opta por realizar un análisis de alternativas de revestimientos de canales. El criterio básico de selección considera costos, pero además considera todas las condicionantes constructivas de cada alternativa para su realización. Luego con el tipo de revestimiento a utilizar seleccionado se realizó una evaluación económica para definir el caudal óptimo de diseño. La evaluación económica simplificada que se realizó en este acápite incluye los costos de las obras de riego y de generación hidroeléctrica, pero solo los beneficios y costos variables propios de la generacion, ya que son los que aportan para definir la mejor alternativa.

7.4.2. Alternativa de Diseño de Canales Unificado y MCH

En el Cuadro 7.4.2-1 se presentan las alternativas a estudiar para el diseño de los canales matrices.

CUADRO 7.4.2-1
ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE CANALES MATRICES

Canal	Km	Requiere	Materiales	Caudal de Diseño (m^3/s)
Canal Unificado	0,00-13,70	Solo revestimiento	Sección trapezoidal de albañileria de piedra Sección trapezoidal de hormigón armado	7,0; 9,0; 11,0; 13
Canal Unificado en Sector Puntilla las Máquinas	13,70-16,05	Abovedamiento	Tubería spiropecc Sección doble cajón de hormigón armado	7,0; 9,0; 11,0; 13
Canal Arriba de Catemu en Sector Puntilla las Máquinas	16,05-17,80	Abovedamiento	Tubería spiropecc Sección doble cajón de hormigón armado	4,0
Canal Abajo de Catemu en Sector Puntilla las Máquinas	16,05-17,80	Abovedamiento	Tubería spiropecc Sección doble cajón de hormigón armado	2,5

Fuente: Elaboración propia

7.4.2.1. Materiales

Revestimiento: A excepción de los cruce de quebradas, el Canal Unificado en el tramo comprendido entre los Km 0,00 y 13,7 solo requiere revestimiento, sin la necesidad de una cubierta.

Para efectos de definir el tipo de revestimiento a utilizar, se propone estudiar las posibilidades de utilizar revestimiento de albañilería de piedra y revestimiento de hormigón no estructural. Ambos con una sección trapezoidal con talud H:V=1:1.

Abovedamiento: Se deben abovedar el Canal Unificado, Canal Arriba de Catemu, y Canal Abajo de Catemu en el Sector Puntilla las Máquinas (Km 13,7 a 17,8), para lo cual se analizaron distintos tipos de materiales, llegando a la conclusión que los que ofrecen una mayor factibilidad son:

- Abovedamiento con sección rectangular de hormigón armado in situ, ya sea doble cajón (para Canal Unificado), como cajón simple (para los canales Arriba de Catemu y Abajo de Catemu).

- Abovedamiento con tubería tipo Spiropecc.

7.4.2.2. Caudal de Diseño

Los caudales de diseño de los canales Arriba y Abajo de Catemu,aguas abajo de la central, se definieron en función de la capacidad de los mismos aguas abajo de las obras, considerando una capidad mínima en función las demandas de agua de los cultivos en situación actual como proyectada

Por otro lado el Canal Unificado su caudal de diseño está directamente relacionado con la rentabilidad de la MCH a instalar a la salida del Túnel 2. Por lo que para definir el caudal de diseño del Canal Unificado y de la MCH se debe realizar una evaluación económica con los costos y beneficios variables para distintos caudales de diseño, luego el caudal de diseño será el óptimo que se obtenga de la curva VAN vs Caudal de Diseño. Para formar la curva mencionada anteriormente se optó por evaluar los caudales de diseño 7,0; 9,0; 11,0 y 13 m^3/s.

7.4.3. Selección de Materiales

La selección de los materiales a utilizar se realiza desde el punto de vista técnico y presupuestario, por lo que en los Acápites siguientes se realizó un análisis para los sectores antes mencionados, donde el costo de las obras de revestimiento para hormigón y albañileria del Canal Unificado se determinaron solamente para un caudal de 13 m^3/s, esto se debe a que no tiene sentido hacer el análisis para otros caudales ya que los costos serán proporcinales al caudal.

Para determinar el presupuesto de cada alternativa de material se realizan los diseños de los tramos estudiados, considerando las bases de diseño estipuladas en el acápite anterior de este informe, los niveles de aguas se determinaron calculando la altura normal a través de la fórmula de Manning, omitiendo la utilización del software HEC-RAS debido a que

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

este análisis es de tipo simplificado. Además se utilizan los precios unitarios presentados en el Capítulo 9 de Precios Unitarios, Cubicaciones y Presupuesto, el detalle del calculo se presenta en el Anexo 7-1.

7.4.3.1. Canal Unificado entre Km 0,00 y 13,70

En los Cuadros 7.4.3.1-1 y 7.4.3.1-2 se presentan los presupuestos simplificados para el revestimiento del Canal Unificado entre los Km 0,00 y 13,70, para las alternativas de mampostería de piedra y hormigón armado, respectivamente. Ambos con sección trapezoidal

CUADRO 7.4.3.1-1
PRESUPUESTO REVESTIMIENTO CANAL UNIFICADO ENTRE Km 0,00 Y 13,70
ALTERNATIVA MAMPOSTERÍA DE PIEDRA (SECCIÓN TRAPEZOIDAL)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. $	COSTO DIRECTO $
MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m^3	24.840	60.240	1.496.396.883
EXCAVACION EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m^3	132.853	2.125	282.275.805
EXCAVACIÓN EN ROCA	m^3	56.937	8.246	469.518.109
POLIETILENO EMBAYETADO	m^2	124.202	1.938	240.703.675
BARBACANAS tubos PVC D = 1,5´, L = 0,30 m	m	496.808	500	248.404.205
SUBTOTAL ITEM				2.737.298.677
COSTO UNITARIO ($/ml)				199.803

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 7.4.3.1-2
PRESUPUESTO REVESTIMIENTO CANAL UNIFICADO ENTRE Km 0,00 Y 13,70
ALTERNATIVA HORMIGÓN ARMADO (SECCIÓN TRAPEZOIDAL)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. $	COSTO DIRECTO $
HORMIGÓN H25 espesor 0,2 m	m^3	16.795	141.747	2.380.599.992
MOLDAJES PARA HORMIGÓN	m^2	111.965	2.479	277.590.749
ENFIERRADURA A 63-42H	kg	251.921	803	202.262.657
EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MÁQUINA	m^3	103.821	2.125	220.592.470
EXCAVACIÓN EN ROCA	m^3	44.495	8.246	366.918.302
BARBACANAS tubos PVC D = 1,5´, L = 0,30 m	m	447.859	500	223.929.490
SUBTOTAL ITEM				3.671.893.660
COSTO UNITARIO ($/ml)				268.021

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en los Cuadros 7.4.3.1-1 y 7.4.3.1-2, la mampostería de piedra resulta una opción más económica, pero ***se selecciona el revestimiento con hormigón armado*** no estructural, debido a que a los muros de mampostería de piedra para secciones similares de hormigón son vulnerables a fisuras en la parte baja ante eventuales acciones

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

sismicas, el hormigón armado ofrece mejor rugosidad aumentando el caudal porteado para una misma sección, además de tener métodos constructivos bastante más rápidos.

7.4.3.2. Canal Unificado entre Km 13,70 y 16,05, y Canal Arriba de Catemu entre Km 16,05 y 17,8

En los cuadros 7.4.3.2-1 y 7.4.3.2-2 se presentan los presupuestos simplificados para el revestimiento del Canal Unificado entre los Km 13,70 y 16,05, y para el Canal Arriba de Catemu entre Km 16,05 y 17,8, para las alternativas de mampostería de piedra y hormigón armado, respectivamente. Ambos con sección trapezoidal

CUADRO 7.4.3.2-1
PRESUPUESTO ABOVEDAMIENTO CANAL UNIFICADO ENTRE Km 13,70 Y 16,05, Y DE CANAL ARRIBA DE CATEMU ENTRE Km 16,05 Y 17,80 ALTERNATIVA SECCIÓN RECTANGULAR DE HORMIGÓN ARMADO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. $	COSTO DIRECTO $
HORMIGÓN H25 espesor 0,2 m	m^3	8.927	141.747	1.265.402.436
MOLDAJES PARA HORMIGÓN	m^2	57.726	2.479	143.118.243
ENFIERRADURA A 63-42H	kg	357.088	803	286.699.330
EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MÁQUINA	m^3	29.760	2.125	63.231.537
EXCAVACIÓN EN ROCA	m^3	12.754	8.246	105.174.979
RELLENO ESTRUCTURAL CON MATERIAL SELECCIONADO	m^3	8.467	6.802	57.592.422
RELLENO MATERIAL COMUN	m^3	8.616	5.802	49.989.891
SUBTOTAL ÍTEM				1.971.208.838
COSTO UNITARIO ($/ml)				577.221

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en los cuadros anteriores, ambas alternativas tienen un costo muy similar, pero según la experiencia de este consultor las ventajas constructivas del hormigón armado son mayores comparado a instalar un tubo de gran diámetro en ladera que no es estructural, pensando que en este tramo los bordes son inestables, esto implicaría construir costosos machones de anclaje y camaras de inspección de gran tamaño, lo que redundaría en un mayor costo.

De acuerdo a lo anterior, para esta consultoría se selecciona la alternativa de abovedamiento con sección rectangular de hormigón armado.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.4.3.2-2
PRESUPUESTO ABOVEDAMIENTO CANAL UNIFICADO ENTRE Km 13,70 Y 16,05, Y DE CANAL ARRIBA DE CATEMU ENTRE Km 16,05 Y 17,80
ALTERNATIVA TUBERÍA TIPO SPIROPECC

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. $	COSTO DIRECTO $
TUBERÍA TIPO SPIROPECC DN=3000MM CLASE 60	m	2.100	464.530	975.513.000
TUBERÍA TIPO SPIROPECC DN=220MM CLASE 60	m	1.615	262.135	423.348.025
TRASLADO A CATEMU	viaje	175	400	70.000
SOLDADURA EXTRUSIÓN TUBERÍA DN=300 CLASE 60	unid	350	103.000	36.050.000
SOLDADURA EXTRUSIÓN TUBERÍA DN=300 CLASE 60	unid	267	51.500	13.733.333
TRANSPORTE INTERNO, COLOCACIÓN Y PRUEBA TUBERÍA DN=300 CLASE 60	m	2.100	30.000	63.000.000
TRANSPORTE INTERNO, COLOCACIÓN Y PRUEBA TUBERÍA DN=220 CLASE 60	m	1.615	20.000	32.300.000
EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MÁQUINA	m^3	27.840	2.125	59.153.149
EXCAVACIÓN EN ROCA	m^3	11.932	8.246	98.391.269
RELLENO CON PLACA VIBRATORIA	m^3	20.768	4.835	100.416.263
RELLENO CON PLACA VIBRATORIA - MATERIAL SELECCIONADO	m^3	9.391	7.887	74.062.303
SUBTOTAL ÍTEM				**1.876.037.343**
COSTO UNITARIO ($/ml)				**549.352**

Fuente: Elaboración propia

7.4.3.3. Canal Abajo de Catemu entre Km 16,05 y 17,8

Al igual que para el Canal Unificado y Canal Arriba de Catemu, para el sector de Puntilla Las máquinas, para esta consultoría se selecciona la alternativa de abovedamiento con sección rectangular de hormigón armado.

7.4.4. Caudal de Diseño

Como se mencionó en el Acápite 7.4.1, en este acápite se realizó una evaluación económica para definir el caudal óptimo de diseño, la que incluye las obras de riego y de generación hidroeléctrica, pero solo los beneficios y costos variables atribuibles a la generación hidroeléctrica, ya que son los que aportan para definir la mejor alternativa.

En cuanto a los costos, las obras que tienen costos variables para los distintos caudales de diseño y que son significativas para definir el caudal óptimo, son:

- **Obras de Riego:** Túnel 1, Túnel 2 y Canal Unificado
- **Mini Central Hidroeléctrica** (incluyendo el costo del canal de restitución)

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.4.4.1. Cubicación y Costo de Obras de Riego para Distintos Caudales

a) Estimación de Costos Túneles 1 y 2

El costo de los túneles se estimo por regla de tres, de la misma forma utilizada en el numeral 4.5.3.4 para la selección de ubicación de la MCH, teniendo como base:

- El costo actualizado (por el valor de la UF) del mejoramiento del Túnel 1 realizado por Electrowatt, para un caudal de diseño 5,5 m³/s.
- Que los costos variables son solamente las excavaciones subterráneas y sostenimiento de roca. Los costos de los portales de entrada y salida se consideran fijos para los distintos caudales.
- Que las capacidades actuales de los túneles 1 y 2 es de 4 m³/s.
- Que la longitud del Túnel 1 es 156 m y del Túnel 2 es 190 m.

En el Cuadro 7.4.4.1-1 se presenta el costo actualizado del mejoramiento del Túnel 1 realizado por Electrowatt, para un caudal de diseño 5,5 m³/s, y en el Cuadro 7.4.1.1-2 se presenta la estimación de los costos de los túneles 1 y 2.

CUADRO 7.4.4.1-1
COSTO ACTUALIZADO AMPLIACIÓN TÚNEL 1

Ítem	Descripción	Costo Electrowatt ($) 1UF=$14.992	Costo Electrowatt Actualizado ($) 1UF=$21.893
1	Obras en portal de entrada	5.370.852	8.284.915
2	Obras en portal de salida	5.576.305	8.601.841
3	Excavaciones subterráneas	11.499.620	17.738.969
4	Sostenimiento de roca	14.946.451	23.055.947
	Costo Directo	**37.393.228**	**57.681.672**

Fuente: Estudio Mejoramiento Canales Catemu, Electrowatt (2000)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.4.4.1-2
ESTIMACIÓN COSTOS AMPLIACIÓN TÚNEL 1 Y TÚNEL 2 ($)

Ítem	Descripción	COSTO PARA Q (m³/s)			
		7	9	11	13
Ampliación Túnel 1					
1	Obras en portal de entrada	8.284.915	8.284.915	8.284.915	8.284.915
2	Obras en portal de salida	8.601.841	8.601.841	8.601.841	8.601.841
3	Excavaciones subterráneas	27.241.988	39.912.680	52.583.372	70.322.341
4	Sostenimiento de roca	35.407.347	51.875.881	68.344.415	91.400.362
	Costo Directo	**79.536.092**	**108.875.317**	**137.814.543**	**178.609.459**
Ampliación Túnel 2					
1	Obras en portal de entrada	8.284.915	8.284.915	8.284.915	8.284.915
2	Obras en portal de salida	8.601.841	8.601.841	8.601.841	8.601.841
3	Excavaciones subterráneas	33.179.344	48.611.598	64.043.851	85.649.005
4	Sostenimiento de roca	43.124.333	63.182.163	83.239.992	111.320.954
	Costo Directo	**93.190.434**	**128.680.517**	**164.170.599**	**213.856.715**

Fuente: Elaboración propia

b) Cubicación Canal Unificado y Arriba de Catemu

Debido a la relevancia del costo del mejoramiento y ampliación del Canal Unificado, se realizó un prediseño y cubicación del Canal Unificado, desde el Km 0 hasta el 17,8, para los 4 caudales definidos con anterioridad. En esta cubicación también se incluye el tramo que abovedado que continúa llamándose Canal Arriba de Catemu.

En el Cuadro 7.4.4.1-3 se presenta la cubicación de la ampliación y mejoramiento del Canal Unificado y del Canal Arriba de Catemu.

CUADRO 7.4.4.1-3
CUBICACIÓN AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO
CANAL UNIFICADO Y ARRIBA DE CATEMU

Parámetro	Unidad	Caudal (m³/s)			
		7	9	11	13
Hormigón	m³	16.095	19.697	22.782	25.468
Acero	kg	405.317	606.733	784.821	886.773
Moldaje	m2	60.757	90.720	114.075	129.007
Excavaciones	m³	55.649	78.501	106.628	162.361
%Exc Roca		25	30	35	40
Exc Tierra	m³	13.912	23.550	37.320	97.417
Exc Roca	m³	41.737	54.951	69.308	64.944
Relleno	m³	4.089	5.309	6.823	9.608

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

c) *Presupuesto para los Distintos Caudales de Diseño*

En el Cuadro 7.4.4.1-4 se presentan las pre-evaluaciones de los presupuestos para las distintas alternativas de caudal de diseño de la MCH, y en el Cuadro 7.4.4.1-2 se presenta un resumen de los costos.

CUADRO 7.4.4.1-4
PREEVALUACIÓN PRESUPUESTO DE COSTOS VARIABLES OBRAS DE RIEGO

CAUDAL DE DISEÑO DE 7,0 m³/s						
ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT	PU	SUBTOTAL ($)	TOTAL ITEM ($)
1	AMPLIACIÓN TÚNEL 1					79.536.092
	OBRAS EN PORTAL DE ENTRADA	GI	1	8.284.915	8.284.915	
	OBRAS EN PORTAL DE SALIDA	GI	1	8.601.841	8.601.841	
	EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	GI	1	27.241.988	27.241.988	
	SOSTENIMIENTO DE ROCA	GI	1	35.407.347	35.407.347	
2	AMPLIACIÓN TÚNEL 2					93.190.434
	OBRAS EN PORTAL DE ENTRADA	GI	1	8.284.915	8.284.915	
	OBRAS EN PORTAL DE SALIDA	GI	1	8.601.841	8.601.841	
	EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	GI	1	33.179.344	33.179.344	
	SOSTENIMIENTO DE ROCA	GI	1	43.124.333	43.124.333	
3	REVESTIMIENTO Y ACUEDUCTO CANAL UNIFICADO Y ARRIBA DE CATEMU					5.030.821.134
	HORMIGÓN H25	m³	16.095	141.747	2.281.453.100	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN	m²	60.757	3.840	233.284.634	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	405.317	1.243	503.981.278	
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m³	13.912	3.291	45.779.215	
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	41.737	46.379	1.935.704.935	
	RELLENO CON PLACA VIBRATORIA	m²	4.069	7.488	30.617.971	
	TOTAL COSTOS DIRECTOS ($)					5.203.547.659
PARA CAUDAL DE DISEÑO DE 9,0 m³/s						
ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT	PU	SUBTOTAL ($)	TOTAL ITEM ($)
1	AMPLIACIÓN TÚNEL 1					108.675.317
	OBRAS EN PORTAL DE ENTRADA	GI	1	8.284.915	8.284.915	
	OBRAS EN PORTAL DE SALIDA	GI	1	8.601.841	8.601.841	
	EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	GI	1	39.912.680	39.912.680	
	SOSTENIMIENTO DE ROCA	GI	1	51.875.881	51.875.881	
2	AMPLIACIÓN TÚNEL 2					128.680.517
	OBRAS EN PORTAL DE ENTRADA	GI	1	8.284.915	8.284.915	
	OBRAS EN PORTAL DE SALIDA	GI	1	8.601.841	8.601.841	
	EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	G	1	48.611.598	48.611.598	
	SOSTENIMIENTO DE ROCA	G	1	63.182.163	63.182.163	
3	REVESTIMIENTO Y ACUEDUCTO CANAL UNIFICADO Y ARRIBA DE CATEMU					6.560.552.609
	HORMIGÓN H25	m³	19.697	141.747	2.791.972.635	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN	m²	90.720	3.840	348.333.016	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	606.733	1.243	754.427.085	
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m³	23.550	3.291	77.494.506	
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	54.951	46.379	2.548.574.072	
	RELLENO CON PLACA VIBRATORIA	m³	5.309	7.488	39.751.294	
	TOTAL COSTOS DIRECTOS ($)					6.797.908.443
CAUDAL DE DISEÑO DE 11,0 m³/s						
ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT	PU	SUBTOTAL ($)	TOTAL ITEM ($)
1	AMPLIACIÓN TÚNEL 1					137.814.543
	OBRAS EN PORTAL DE ENTRADA	GI	1	8.284.915	8.284.915	

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.4.4.1-4
PREEVALUACIÓN PRESUPUESTO DE COSTOS VARIABLES OBRAS DE RIEGO

	OBRAS EN PORTAL DE SALIDA	GI	1	8.601.841	8.601.841	
	EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	GI	1	52.583.372	52.583.372	
	SOSTENIMIENTO DE ROCA	GI	1	68.344.415	68.344.415	
2	AMPLIACIÓN TÚNEL 2					164.170.599
	OBRAS EN PORTAL DE ENTRADA	GI	1	8.284.915	8.284.915	
	OBRAS EN PORTAL DE SALIDA	GI	1	8.601.841	8.601.841	
	EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	GI	1	64.043.851	64.043.851	
	SOSTENIMIENTO DE ROCA	GI	1	83.239.992	83.239.992	
3	REVESTIMIENTO Y ACUEDUCTO CANAL UNIFICADO Y ARRIBA DE CATEMU					8.031.479.442
	HORMIGÓN H25	m³	22.782	141.747	3.229.276.301	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN	m²	114.075	3.840	438.008.033	
	ENFIERRADURA A 63-42H	kg	784.821	1.243	975.866.260	
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m³	37.320	3.291	122.803.099	
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	69.308	46.379	3.214.431.668	
	RELLENO CON PLACA VIBRATORIA	m³	6.823	7.488	51.094.080	
	TOTAL COSTOS DIRECTOS ($)					8.333.464.584

CAUDAL DE DISEÑO DE 13,0 m³/s

ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT	PU	SUBTOTAL ($)	TOTAL ITEM ($)
1	AMPLIACIÓN TÚNEL 1					178.609.459
	OBRAS EN PORTAL DE ENTRADA	GI	1	8.284.915	8.284.915	
	OBRAS EN PORTAL DE SALIDA	GI	1	8.601.841	8.601.841	
	EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	GI	1	70.322.341	70.322.341	
	SOSTENIMIENTO DE ROCA	GI	1	91.400.362	91.400.362	
2	AMPLIACIÓN TÚNEL 2					213.856.715
	OBRAS EN PORTAL DE ENTRADA	GI	1	8.284.915	8.284.915	
	OBRAS EN PORTAL DE SALIDA	GI	1	8.601.841	8.601.841	
	EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	GI	1	85.649.005	85.649.005	
	SOSTENIMIENTO DE ROCA	GI	1	111.320.954	111.320.954	
3	REVESTIMIENTO Y ACUEDUCTO CANAL UNIFICADO Y ARRIBA DE CATEMU					8.612.576.033
	HORMIGÓN H25	m³	25.468	141.747	3.610.040.208	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN	m²	129.007	3.840	495.341.682	
	ENFIERRADURA A 63-42H	kg	886.773	1.243	1.102.635.985	
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m³	97.417	3.291	320.556.887	
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	64.944	46.379	3.012.058.575	
	RELLENO CON PLACA VIBRATORIA	m³	9.608	7.488	71.942.696	
	TOTAL COSTOS DIRECTOS ($)					9.005.042.208

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 7-2 "Estudio de Obras de Riego para Obtener el Caudal Óptimo" se presentan planillas de cálculo con el diseño, cubicación y presupuesto estimativo de las obras de riego, para los distintos caudales de diseño.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.4.4.1-2
RESUMEN COSTOS VARIABLES DE OBRAS DE RIEGO
PARA DISTINTOS CAUDALES (MILLONES $)

	DETALLE	CAUDAL (m³/s) 7,0	9,0	11,0	13
1	AMPLIACIÓN TÚNEL 1	80	109	138	179
2	AMPLIACIÓN TÚNEL 2	93	129	164	214
3	REVESTIMIENTO Y ACUEDUCTO CANAL UNIFICADO Y ARRIBA DE CATEMU	5.031	6.561	8.031	8.613
	TOTAL COSTOS DIRECTOS	**5.204**	**6.798**	**8.333**	**9.005**

Fuente: Elaboración propia

7.4.4.2. Costo Minicentral Hidroeléctrica para Distintos Caudales

En el Cuadro 7.4.4.2-1 se presenta un resumen de los costos de la MCH para los distintos caudales de diseño.

CUADRO 7.4.4.2-1
RESUMEN COSTOS MCH
PARA DISTINTOS CAUDALES

	CAUDAL (m³/s)	7	9	11	13
	POTENCIA (MW)	4,1	5,2	6,4	8
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	COSTO (MILL $)			
1	INSTALACIÓN DE FAENAS	99	99	99	99
2	CAMINOS DE ACCESO	79	79	79	79
3	CANAL DE ADUCCIÓN Y DESARENADOR	108	125	140	155
4	CÁMARA DE CARGA Y VERTEDERO LATERAL	70	81	92	105
5	CHUTES RECHAZO DE CARGA Y DE DISIPACIÓN	117	141	166	191
6	TUBERÍAS	195	209	230	254
7	CASA DE MÁQUINAS Y FUNDACIÓN EQUIPOS	391	396	460	460
8	ESTANQUE DE ESTABILIZACIÓN Y FOSO DISIPADOR	48	58	66	79
9	EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS Y DE BOMBEO	1.579	1.974	2.297	2.868
10	LÍNEA ELÉCTRICA Y PATIO TRANSFORMACIÓN	146	146	166	166
	TOTAL COSTOS DIRECTOS	**2.831**	**3.308**	**3.796**	**4.456**

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 7-3 "Estudio Preliminar de MCH para Obtener el Caudal Óptimo" se presenta una memoria referente al dimensionamiento de la MCH para los distintos caudales de diseño, donde para cada caso se tiene como característica común la utilización de dos turbinas Francis (la A con 2/3 de la capacidad máxima de diseño, y B con 1/3), operando con una altura neta estimada en 65 m.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.4.4.3. Beneficios

Para la obtención del caudal óptimo de diseño del canal Unificado y de la MCH en el Cuadro 7.4.4.3-1 se ha resumido los resultados de la simulación de la generación hidroeléctrica en la MCH, en la cual la operación de la central queda supeditada a las entregas de agua para riego.

En el Anexo 7-3 "Planillas de Generación Hidroeléctrica" se presentan las planillas de generación para las 4 alternativas de caudal de diseño.

Cabe señalar que se trabajaron con estadísticas de generación con valores medios mensuales, y que para determinar la potencia y energía generada, primeramente se evaluó la eficiencia de las turbinas para el caudal disponible de generación.

CUADRO 7.4.4.3-1
RESUMEN RESULTADOS GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA
PARA LAS ALTERNATIVAS DE CAUDAL

Caudal de Diseño (m^3/s)	H neta (m)	P tot (MW)	Energía Generada (MWh)	Factor de Planta (%)
7,0	65,0	4,01	10.185	28,9
9,0	65,0	5,20	15.244	33,3
11,0	65,0	5,80	13.505	30,1
13,0	65,0	6,99	17.925	29,3

Fuente: Elaboración propia

7.4.4.4. Evaluación Económica Simplificada

En este acápite se presentan los resultados de la evaluación económica realizada con los métodos del presupuesto, para determinar el caudal de diseño óptimo del Canal Unificado y de la MCH.

En el Cuadro 7.4.4.4-1 se presentan las consideraciones para realizar la evaluación económica, la cual para estos efectos se realiza solo para precios privados.

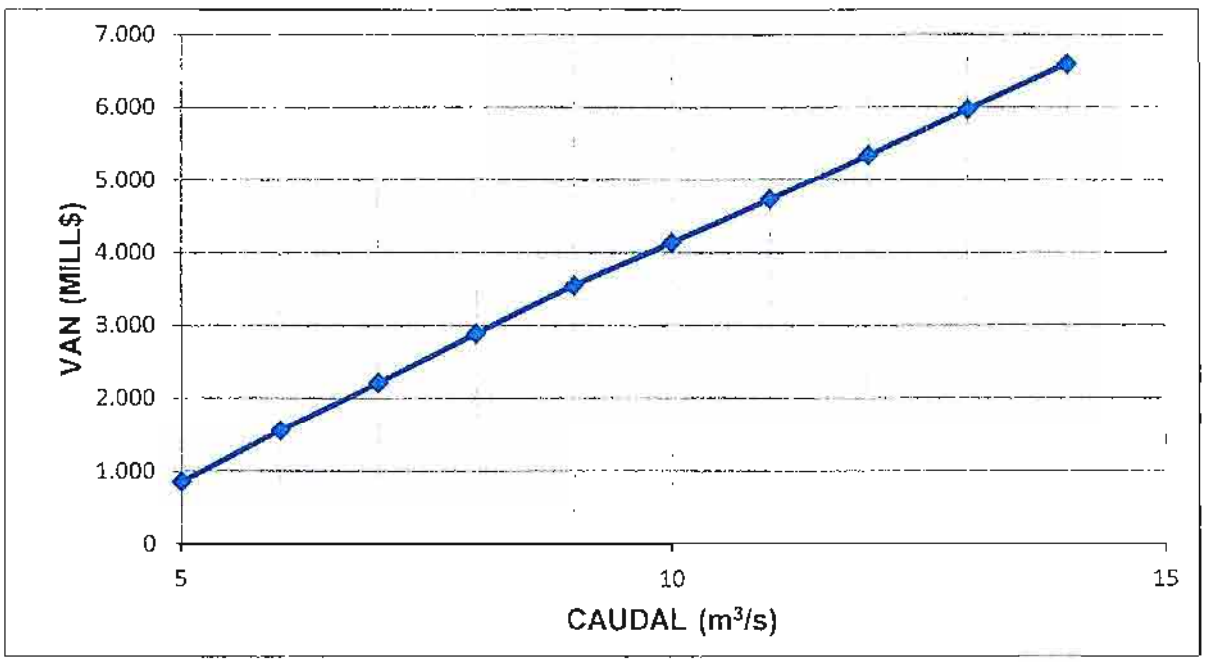
En la Figura 7.4.4.4-1 se presenta la variación del VAN a precios privados de los costos variables del proyecto, tanto para las obras de riego como de generación hidroeléctrica.

CUADRO 7.4.4.4-1
CONSIDERACIONES EVALUACIÓN ECONÓMICA
PREDISEÑO DE ALTERNATIVAS

Parámetro	Valor	Unidad
Valor del dólar	515	$
Duración Construcción Sistema Riego	1	años
Duración Contrucción MCH	1	años
Gastos Operacionales Sistema Riego	2,0%	
Gastos de Operación y Mantención MCH (% Inversión)	5,0%	
Gastos Generales de Administración MCH (% Venta)	10,0%	
Venta Potencia	63.000.000	$/MW
Venta Energía	100	USD/MWh
Venta de ERNC	14	USD/MWh
Daño Evitado por Inundación (unitario)	0	$/ha

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 7.4.4.4-1
VAN DE COSTOS VARIABLES V/S CAUDAL DE DISEÑO



Fuente: Elaboración propia

Al analizar la figura anterior, se concluye que desde el punto de vista económico, el caudal óptimo de diseño, tanto para las obras de riego como para la MCH es 13 m³/s. El detalle del calculo se presenta en el Anexo 7-4.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.4.4.5. Selección de Caudal de Diseño

Dados los resultados obtenidos en los acápites anteriores, se selecciona el caudal de 13 m³/s para el prediseño del Canal Unificado desde el Km 0 hasta el Km 16,05, y para el caudal de diseño de las obras que comprende la MCH, incluyendo el diseño del canal de restitución, pero debido a la venta de parte de estos derechos, se selecciona un caudal de 13 m³/s.

7.5. ESTIMACIÓN DE SOCAVACIÓN EN BOCATOMA

7.5.1. Introducción

En el presente acápite se ha estimado la socavación del lecho del río debido a la construcción de las obras que componen la bocatoma del Canal Unificado (proyectada en la caja del río Aconcagua) y la socavación del lecho aguas abajo de las compuertas de descarga de dicha bocatoma, con el fin de definir las protecciones necesarias que eviten el efecto de socavación.

Para determinar la socavación generada por la construcción de la bocatoma se definió un caudal asociado a un periodo de retorno de 100 años, lo que considera una vida útil de 50 años y una seguridad superior al 60%. Calculado el caudal de diseño y utilizando los antecedentes granulométricos recabados de la zona de estudio y la nueva calicata hecha para éste estudio, se han desarrollado las metodologías propuestas por diferentes autores para estimar la socavación general (USBR y Lischtvan Letvediev-Maza) y la socavación local (Melville y Froehlich). Finalmente la socavación total se estima como la suma de la socavación general y local.

También se ha utilizado la fórmula genérica para pie de radieres recomendada en el volumen 3 del Manual de Carreteras para estimar la socavación aguas abajo de las compuertas de descarga de la bocatoma del Canal Unificado, asociada al caudal máximo de diseño de 13 m³/s.

Por otra parte, se realizaron dos sondajes uno en el punto donde se proyecta la bocatoma del Canal Unificado y el otro 10 m hacia el río. Las características del suelo indicadas en la estratigrafía del sondaje 1, revelan que existen gravas gruesas y medias, con arena hasta los 4,5 m de profundidad, luego cambia la composición del suelo a un maicillo cementado lo que señala que dicho estrato pertenece a la continuación del cerro.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.5.2. Caudal para la Estimación de la Socavación

7.5.2.1. Bocatoma

Se definió el caudal para la estimación de la socavación del lecho del río Aconcagua de acuerdo a la vida útil y seguridad de la bocatoma del Canal Unificado.

Dado que el proyecto considera la captación continua del total derechos de aprovechamiento superficial de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, o en su defecto, una porción de las aguas disponibles en la segunda sección del río Aconcagua (en caso de déficit hídrico), para optimizar los beneficios que se generarán tanto en el área agricola como en la hidrogeneración del recurso, se ha considerado una vida útil de la obra (n) de 50 años y una seguridad (S) superior a 60%. La seguridad se calcula como:

$$S = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

De donde se obtiene que T debe ser mayor a 98 años. Para fines del cálculo, se adoptó un periodo de retorno (T) igual a 100 años. Este resultado equivale a que existe una probabilidad del 39% (o riesgo) de que la obra falle durante su vida útil. El caudal de diseño asociado al periodo de retorno de diseño es de 1.096 m³/s.

7.5.2.2. Compuertas de Descarga

En este caso el caudal para determinar la socavación es igual al caudal de diseño de la bocatoma Unificada el cual corresponde a 13 m³/s.

7.5.3. Eje Hidráulico del Río Aconcagua

Los métodos mencionados anteriormente, utilizan parámetros tales como la altura de escurrimiento del flujo, velocidades de escurrimiento, N° de Froude, entre otros. Por esta razón se utilizó el modelo HEC-RAS para generar el eje hidráulico del sector en donde se proyecta la bocatoma.

La topografia del sector de la bocatoma se generó a partir de la cartografía del Estudio Integral de los Valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca de 1989, realizado en conjunto por CNR y CICA y de una matriz de puntos (TIN) extraídos de Google Earth.

Se le ingresaron condiciones de borde tanto aguas arriba como aguas abajo para realizar una modelación de régimen mixto, en caso de que se presentara dicho escenario. Las condiciones fueron las siguientes:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Aguas Arriba: Altura Normal, pendiente 0,00866.
- Aguas Abajo: Altura Normal, pendiente 0,00706.

La rugosidad del río se estimó de acuerdo a los valores indicados en el texto Hidráulica de los canales Abiertos, Ven Te Chow. Los valores fueron 0,032 para la caja central del río y 0,045 para las riberas de inundación.

Se modeló el eje hidráulico para diferentes periodos de retorno, en Cuadro 7.5.3-1 se indican los principales valores obtenidos en el perfil 4.25 el cual coincide con la ubicación de la bocatoma proyecta como se indica en la Figura 7.5.3-1. La modelación propiamente tal se muestra en el Anexo 7-5.

CUADRO 7.5.3-1
PARÁMETROS EXTRAÍDOS DEL MODELO HEC-RAS EN EL PERFIL 4.25

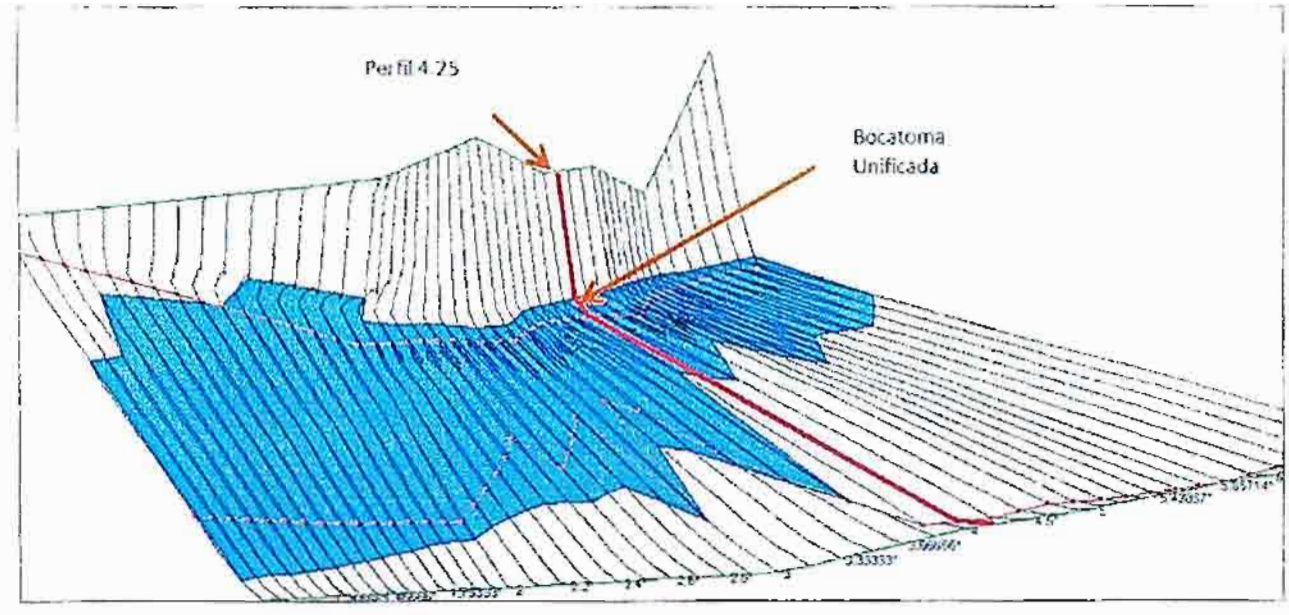
T (años)	Q (años)	h máximo (años)	Número de Fr	v media (años)
2	182	1,01	0,55	1,37
5	354	1,3	0,63	1,77
10	496	1,48	0,67	2,00
25	710	1,71	0,71	2,26
50	893	1,85	0,76	2,48
100	1096	2,00	0,78	2,65
200	1323	2,33	0,85	2,13

Fuente: Elaboración propia

Lo anteriormente expuesto permite realizar los cálculos de la estimación de la socavación en la bocatoma del Canal Unificado. Para evaluar la socavación al pie de las compuertas de descarga, se utilizaron además algunos supuestos respecto al eje hidráulico, que se indican más adelante en el Acápite 7.5.6.4.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

FIGURA 7.5.3-1
PRESENTACIÓN 3D DE SECTOR DE BOCATOMA



Fuente: Elaboración propia

7.5.4. Granulometría

Preliminarmente, con el fin de caracterizar granulométricamente el área de estudio, se consideraron los datos recopilados del estudio "Diseño a Nivel de Prefactibilidad de Obras en Canales del Río Aconcagua", Geofun de 1999. En este se incluye la granulometría integral del lecho del río en la bocatoma del canal Valdesano, ubicada en la ribera opuesta del río Aconcagua, a unos 10 km aguas abajo de la bocatoma del canal Arriba de Catemu, tal como se muestra en la Figura 7.5.4-1.

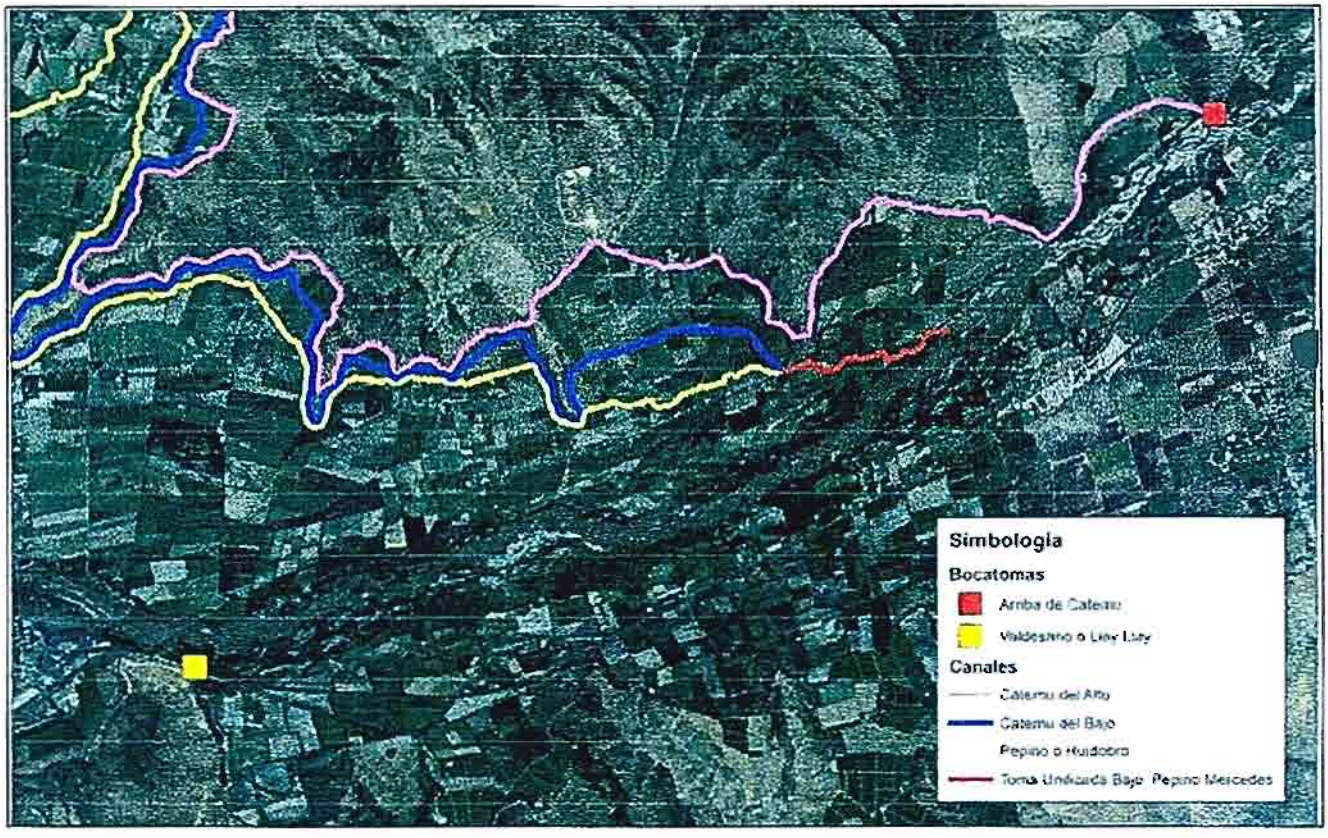
Para consignar que la granulometría en el sector se mantiene, se comparó la curva granulométrica de la bocatoma del canal Valdesano con la curva granulométrica de una calicata ubicada en el Km 0,5 del canal Arriba de Catemu realizada en el estudio de Informe de Mecánica de Suelos, estudio "Mejoramiento Canales Catemu, V Región", Electowatt. 2000, sin considerar bolones.

Posteriormente se realizó una calicata en el lugar donde se proyecta la nueva bocatoma, obteniendo así una granulometría integral más representativa que la anteriormente mencionada.

En la Figura 7.5.4-2 se presenta la comparación gráfica de las tres curvas en donde se puede apreciar que la nueva calicata presenta resultados diferentes al resto.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

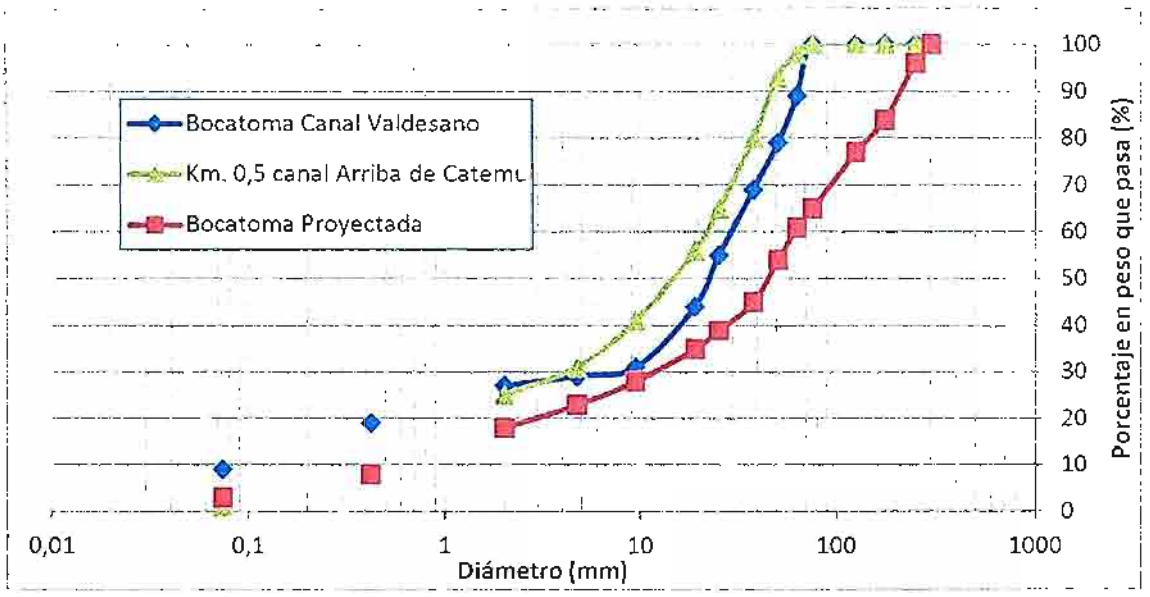
FIGURA 7.5.4-1
UBICACIÓN BOCATOMA VALDESANO



La granulometría obtenida del ensayo de laboratorio realizado por Labsai, para el presente estudio en el sitio donde se proyecta la nueva bocatoma se presenta en el Cuadro 7.5.4-1 y la curva granulométrica integral en la Figura 7.5.4-3.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.5.4-2
COMPARACIÓN DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS



Fuente: Elaboración propia a partir información de GEOFUN (1999) y Labsai (2011)

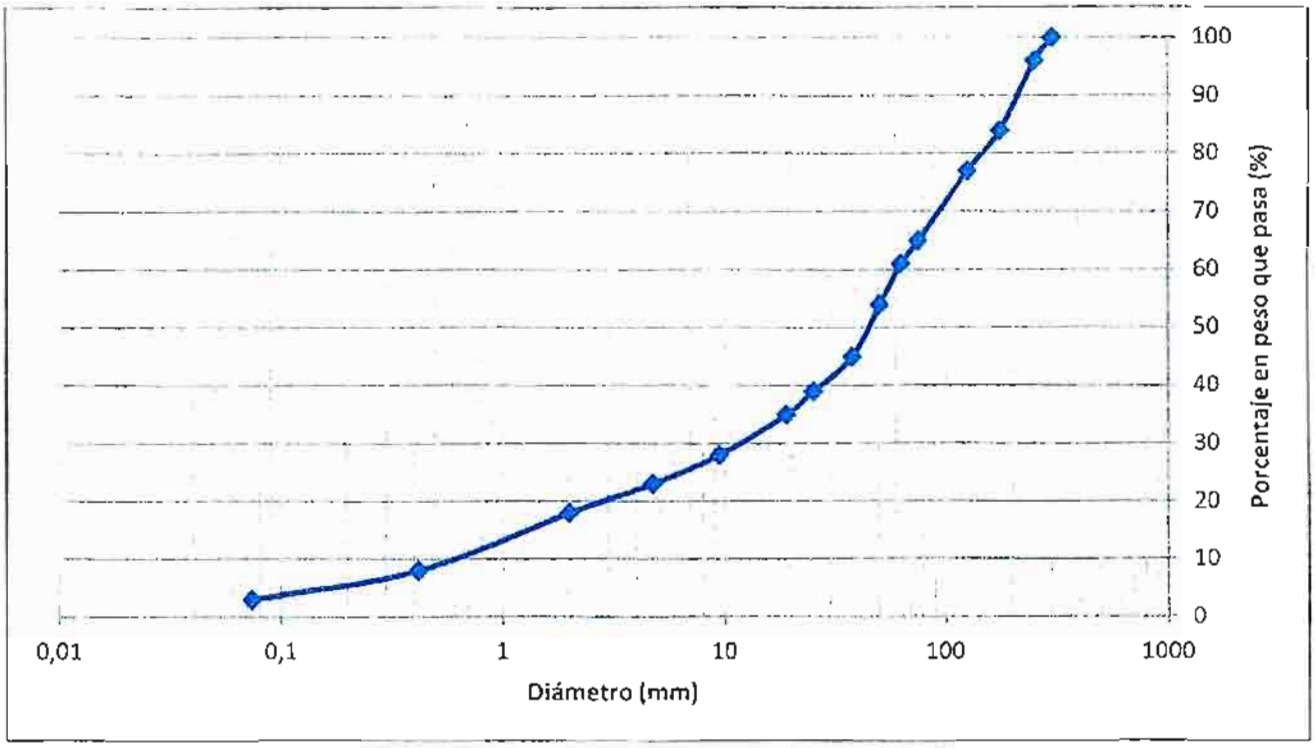
CUADRO 7.5.4-1
CURVAS GRANULOMÉTRICA EN SITIO NUEVA
BOCATOMA

Tamiz	Tamaño de la malla		(% en peso que pasa)
		(mm)	Bocatoma Proyectada
Criba	12"	304,8	100
	10"	254	96
	7"	177,8	84
	5"	127	77
	3"	76,2	65
Criba	2 ½"	63,5	61
	2"	50,8	54
	1 ½"	38,1	45
	1"	25,4	39
	¾"	19,1	35
	3/8"	9,52	28
Malla N°	4	4,76	23
	10	2	18
	40	0,42	8
	200	0,074	3

(*) Tamaño medio estimado de bolones de acuerdo a visitas de terreno
Fuente: Labsai (2011)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.5.4-3
CURVA GRANULOMÉTRICA INTEGRAL EN BOCATOMA



Fuente: Elaboración propia a partir de ensayo de Labsai (2011)

A partir de la curva granulométrica integral se obtuvieron los diámetros d_{50}, d_{me} y d_{84} Este último fue necesario para la determinación de la socavación. Los valores de los diámetros son los siguientes:

- d_{50} = 45 mm
- d_{84} = 190 mm
- d_{me} = 75 mm
- d_{90} = 210 mm

7.5.5. Calculo de Socavación en Bocatoma

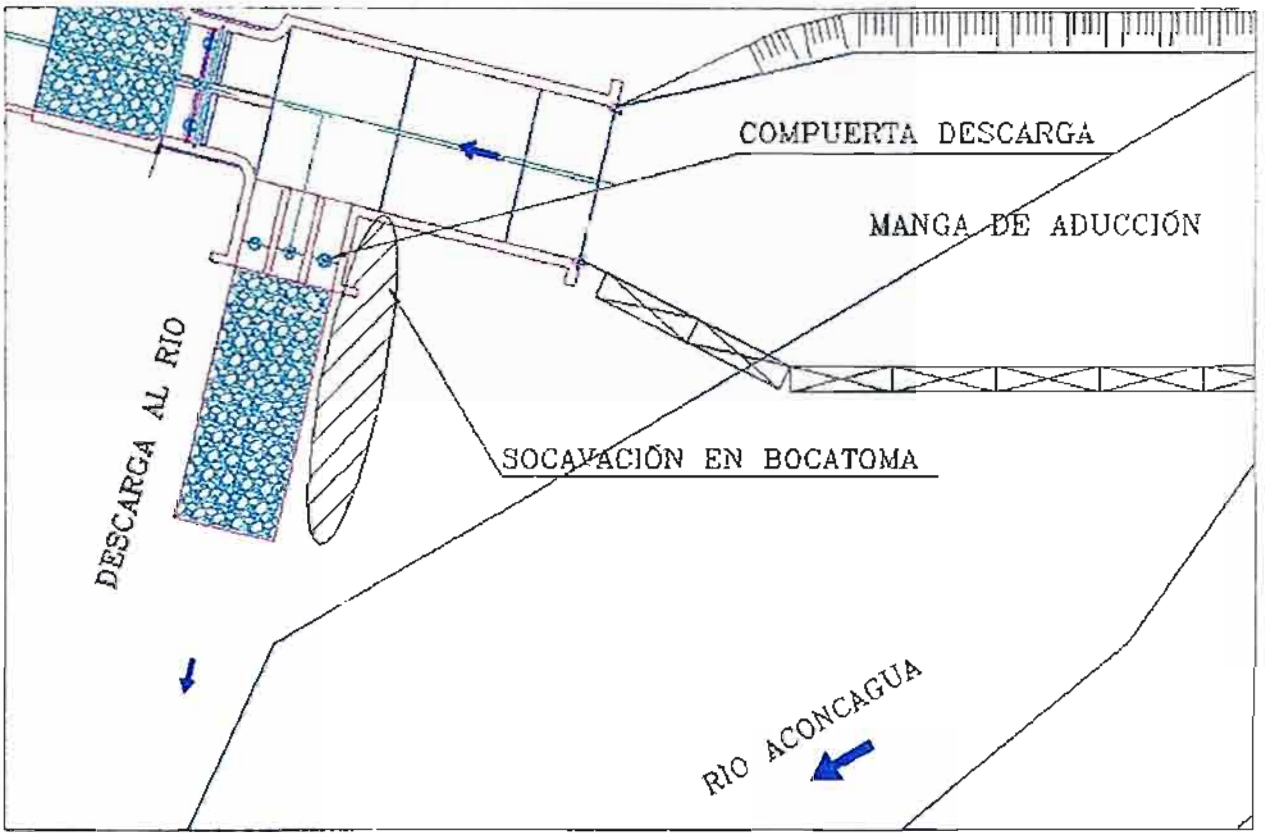
7.5.5.1. Introducción

La socavación es un fenómeno producido por un desequilibrio localizado entre la tasa a la cual el sedimento es arrastrado por la corriente fuera de una determinada zona del lecho y la tasa de sedimento hacia ella. La socavación total es la suma entre la socavación

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

general y la socavación local. En la Figura 7.5.5.1-1 se indica donde sería socavado el lecho del río.

FIGURA 7.5.5.1-1
SOCAVACIÓN EN BOCATOMA



Fuente: Elaboración propia

7.5.5.2. Socavación General

En lo que sigue se presenta la teoría y el cálculo de la socavación generalizada.

a) Generalidades

En un cauce fluvial hay circunstancias que producen una socavación general del fondo del cauce, por ejemplo en el caso de un estrechamiento provocado por una obra hidráulica o el desequilibrio entre la capacidad de acarreo y el material disponible en el lecho del río. La socavación general sería un proceso de degradación del lecho.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Para determinar la socavación general se utilizaron la metodología propuesto por el USBR, y el método de Lischtvan Letvediev-Maza, los cuales se presentan en lo que sigue.

b) Método del USBR[1]

Este método supone que se mantienen las mismas condiciones hidráulicas del cauce original y se conserva la pendiente general del lecho. El método es válido sólo si hay abundancia de materiales gruesos que permita el acorazamiento del lecho, para lo cual debe haber por lo menos un 10% del material total, de mayor tamaño que el exigido por la coraza.

Para determinar el tamaño del a coraza (y_{coraza}) se recomiendan las siguientes relaciones:

- Si $d_{coraza} \geq 50$ (mm) entonces la coraza será: $y_{coraza} = 3 \cdot d_{coraza}$
- Si $d_{coraza} < 50$ (mm) entonces la coraza será: $y_{coraza} = 0{,}15$ (m)

Donde d_{coraza}= tamaño mínimo de los materiales que no serán arrastrados por la crecida en estudio. Este se determinó utilizando la relación de C. R. Neill que se presenta a continuación.

$$\left(\frac{d_{coraza}}{h}\right)^{1/3} = \frac{Fr}{\sqrt{2 \cdot (s-1)}}$$

Donde Fr es el número de Froude, h la altura de escurrimiento y s el peso específico del suelo. Del Cuadro 4.3-1, se tiene que Fr es igual a 0,78 para el caudal de diseño, el valor de s se obtiene de los ensayes de TECNOLAB del estudio de Geofun de 1999 citado anteriormente y es igual a 2,66. Aplicando la fórmula se tiene un valor de d_{coraza} de 157 mm, por lo tanto y_{coraza} es igual a 0,47 m.

Finalmente el método calcula la socavación general utilizando la siguiente expresión:

$$S_g = y_{coraza} \cdot \left(\frac{P_{coraza}}{1 - P_{coraza}}\right)$$

Donde Sg es la socavación general y P_{coraza} el porcentaje en peso del material que tiene un tamaño igual o menor que el d_{coraza}.. De la curva granulométrica se tiene que P_{coraza} es 85%, dando una socavación general de 2,7 m.

[1] El detalle del método se presenta en los apuntes "Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras, Tomo I, Mery, pág. 78.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.c

La socavación total para T = 100 años es de 2,7 m, sin embargo, no se cumple con la condición de que el 10% del material total debe ser de mayor tamaño que el y_{coraza}, por lo tanto, queda descartado el método. Los cálculos obtenidos se presentan en el Anexo 7-5.

c) Método de Lischtvan Letvediev – Maza

El método tiene las siguientes referencias.

- MORENO, CH, R., FUENTES, R. Y LOPEZ, A.: "Socavación generalizada: método de Lischtvan, Lebediev y Maza. Verificación experimental", XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México, Octubre 1998.
- SCHREIDER M, SCACCHI G., FRANCO F., FUENTES R. Y MORENO C. "Aplicación del Método de Lischtvan y Lebediev al cálculo de la erosión general.".Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XVI, num. 1, pp. 15-26. marzo de 2001.
- MAZA ALVAREZ, J.A.: "Introduction to River Engineering", Universitá Italiana per Stranieri, Perusa, Italia, Febrero 1993.
- MAZA ALVAREZ, J.A. y GARCIA FLORES, M.: "Transporte de Sedimentos - Manual de Hidráulica Fluvial - Capitulo 10", Com. Nac. del Agua, México, 1995.
- AYALA, L: "Diseño Hidráulico de Puentes", Publicación CRH 83-13-E, Centro de Recursos Hídricos, Universidad de Chile, 1983.

Los resultados obtenidos al utilizar éste método se ajustan muy bien a las experiencias de laboratorio (Moreno, Fuentes y López, 1998) y de terreno (Maza, 1993).

De acuerdo con la referencia (2), se presenta un análisis comparativo entre el método de Lischvan Levediev y datos de observaciones en laboratorio con lecho de arena y datos del Río Mapocho (R.M. Chile), constatando que existen diferencias máximas entre los valores calculados y observados cercanos a un 30%. Por esta razón, los valores de la profundidad de socavación serán aumentados por un factor de seguridad de un 30%.

El cálculo se basa en la determinación de la profundidad de socavación (d_s). Asumiendo que la rugosidad es constante en toda la sección, la profundidad de socavación medida desde el fondo del lecho a la superficie libre del escurrimiento líquido se expresa en las ecuaciones siguientes:

$$d_s = \left| \frac{\alpha \cdot {d_o}^{5/3}}{4{,}7 \cdot \beta \cdot d_{84}^{0{,}28}} \right|^{\frac{d_{84}^{0{,}03}}{0{,}322 + d_{84}^{0{,}03}}} \qquad 0{,}00005\, m \leq d_{84} < 0{,}0026\, m$$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$d_s = \left| \frac{\alpha \cdot {d_o}^{5/3}}{4{,}7 \cdot \beta \cdot d_{84}^{0{,}28}} \right|^{\frac{d_{84}^{0{,}092}}{0{,}233 + d_{84}^{0{,}092}}} \qquad 0{,}0026\, m \leq d_{84} < 0{,}182\, m$$

$$d_s = \left| \frac{\alpha \cdot {d_o}^{5/3}}{4{,}7 \cdot \beta \cdot d_{84}^{0{,}28}} \right|^{\frac{d_{84}^{0{,}187}}{0{,}191 + d_{84}^{0{,}187}}} \qquad 0{,}182\, m \leq d_{84} < 1{,}0\, m$$

$$\alpha = \frac{Q_d}{{d_m}^{5/3} \cdot B_e}$$

Donde:

d_{84} : Diámetro por el cual pasa el 84% del material en peso

d_o : Profundidad inicial, medida desde el fondo del lecho hasta la superficie libre del escurrimiento líquido

d_s : Profundidad después del proceso de socavación, medida desde el fondo del lecho hasta la superficie libre del escurrimiento líquido

Q_d : Caudal de diseño

Be : Ancho superficial efectivo, asociado al caudal de diseño y a la sección inicial del cauce.

d_m : Profundidad media que resulta de dividir el área de escurrimiento y el ancho superficial efectivo, ambos asociados al caudal de diseño y a la sección original del cauce

β : Es un coeficiente que toma en cuenta el período de retorno T asociado al caudal de diseño. Para determinar su valor se propone la siguiente expresión, la cual es válida para períodos de retorno entre 15 y 1500 años

$$\beta = \begin{cases} 0{,}8416 + 0{,}03342 \ln T & T < 100\ años \\ 1{,}00 & T \geq 100\ años \end{cases}$$

Finalmente, la socavación "S" desde el fondo inicial con máxima erosión se determina como:

$$S = d_s - d_0$$

Con el valor del d_{84} definido anteriormente, con la curva granulométrica, y utilizando las ecuaciones indicadas, se obtienen los valores de los parámetros necesarios para la determinación de la socavación general. El d_{84} se encuentra en el rango 0,182 m – 1,0 m.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El área de escurrimiento y la profundidad inicial se obtuvieron del modelo Hec Ras y se asocian al perfil 4.25 en donde se proyecta la bocatoma unificada.

Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 7.5.5.2-1, los cálculos se adjuntan en el Anexo 7-5. Se adoptó el valor de 0,8 m.

CUADRO 7.5.5.2-1
RESULTADOS MÉTODO LISCHVAN LEVEDIEV

Parámetro	Valor
d_{84} (m)	0,190
d_o (m)	2,00
Q_d (m^3/s)	1096
Be (m)	361,13
A (m^2)	423,34
d_m	1,17
β	1,00
T	100
α	2,3
ds	2,08
ds x 1,3	2,70
S	0,702

Fuente: Elaboración propia

7.5.5.3. Socavación Local

En lo que sigue se presenta la teoría y el cálculo de la socavación local.

a) Generalidades

La socavación que se produce en torno a un obstáculo situado en una corriente líquida se denomina "socavación local" y es el resultado directo de las alteraciones del flujo producido por el obstáculo o la estructura hidráulica. Las alteraciones del flujo pueden consistir en aumentos de las velocidades locales, formación de vórtices, etc. Los modelos físicos y las experiencias en prototipos han permitido desarrollar métodos de predicción de las socavaciones y un mejor conocimiento de los fenómenos involucrados.

Para determinar la socavación local se utilizaron los métodos propuestos por Melville y Froehlich para estribos y espigones.

Dado que la bocatoma se proyecta en la ladera derecha del río Aconcagua se considera conveniente estimar la socavación local en la bocatoma con las ecuaciones

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

definidas para determinar dicha socavación en estructuras tales como Estribos y Espigones. Esto debido a que desde punto hidráulico las tres estructuras tienen el mismo comportamiento puesto que generan un estrechamiento del flujo.

b) Método de Melville[2]

La Fórmula de Melville, constituye una versión actualizada de varios autores y toma en cuenta diversos factores del fenómeno.

$$\frac{S_e}{h} = K_\phi \cdot K_F \cdot K_h \cdot K_\sigma \cdot K_I$$

Donde S_e es la socavación del estribo (m), h la altura del escurrimiento no perturbado (m), K_ϕ es el factor del ángulo de esviaje de la estructura, K_F el factor de forma, K_h el factor que considera la profundidad del flujo, K_σ factor de dispersión granulométrica de la arena si no es uniforme y K_I el factor de intensidad del flujo.

En el Anexo 7-5 se presentan los cálculos para cada uno de los factores, y en el Cuadro 7.5.5.3-1 se presentan los resultados obtenidos de cada uno de ellos. Cabe mencionar que los datos encontrados por W. B. Melville para tener en cuenta la influencia del tamaño y la graduación del sedimento son inconsistentes por lo que se sugiere que para propósitos prácticos K_σ sea usado igual a 1,0. Esto significa que las profundidades de socavación obtenidas se aplican para sedimentos uniformes. La altura h de escurrimiento se obtiene del modelo HEC-RAS la cual es igual a 1,3 m, por lo tanto el valor de S_e resulta igual a 2,37 m.

CUADRO 7.5.5.3-1
FACTORES FÓRMULA DE MELVILLE

Factor de Corrección	Valor
K_ϕ	0,94
K_F	0,75
K_h	2,60
K_σ	1,00
K_I	1,00

Fuente: Elaboración propia

[2] Acápite 3.707.403 del Volumen N°3 del Manual de Carreteras

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

c) Método de Froehlich

Éste método se implementa en el trabajo de Tesis "Socavación en Obras Civiles y su Problemática", del Instituto Politécnico Nacional de México, documento que se adjunta como Anexo 7-6.

La ecuación de Froehlich, obtenida en medidas de socavación de 170 casos de lecho activo en canales de laboratorio es la siguiente:

$$\frac{y_s}{y_a} = 2{,}27 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \left(\frac{a'}{y_a}\right)^{0{,}43} \cdot F^{0{,}61} + 1$$

Donde y_a es la profundidad media de flujo en la planicie de inundación (m), y_s la profundidad de socavación (m), K_1 el coeficiente por forma de estribo, K_2 el coeficiente por ángulo del terraplén de acceso al flujo, a' longitud del estribo proyectado perpendicular al flujo igual a 1,55 m y F el número de Froude. En el Anexo 7-5 se presentan los cálculos del método y en el Cuadro 7.5.5.3-2 los resultados obtenidos. La Socavación local calculada asciende a 3,7 m.

CUADRO 7.5.5.3-2
RESULTADOS MÉTODO DE FROEHLICH

Parámetro	Valor
K1	1,00
K2	0,871
a'	1,55
Fr	0,78
Ya (m)	1,3
Ys/Ya	2,83
Ys (m)	3,7

Fuente: Elaboración propia

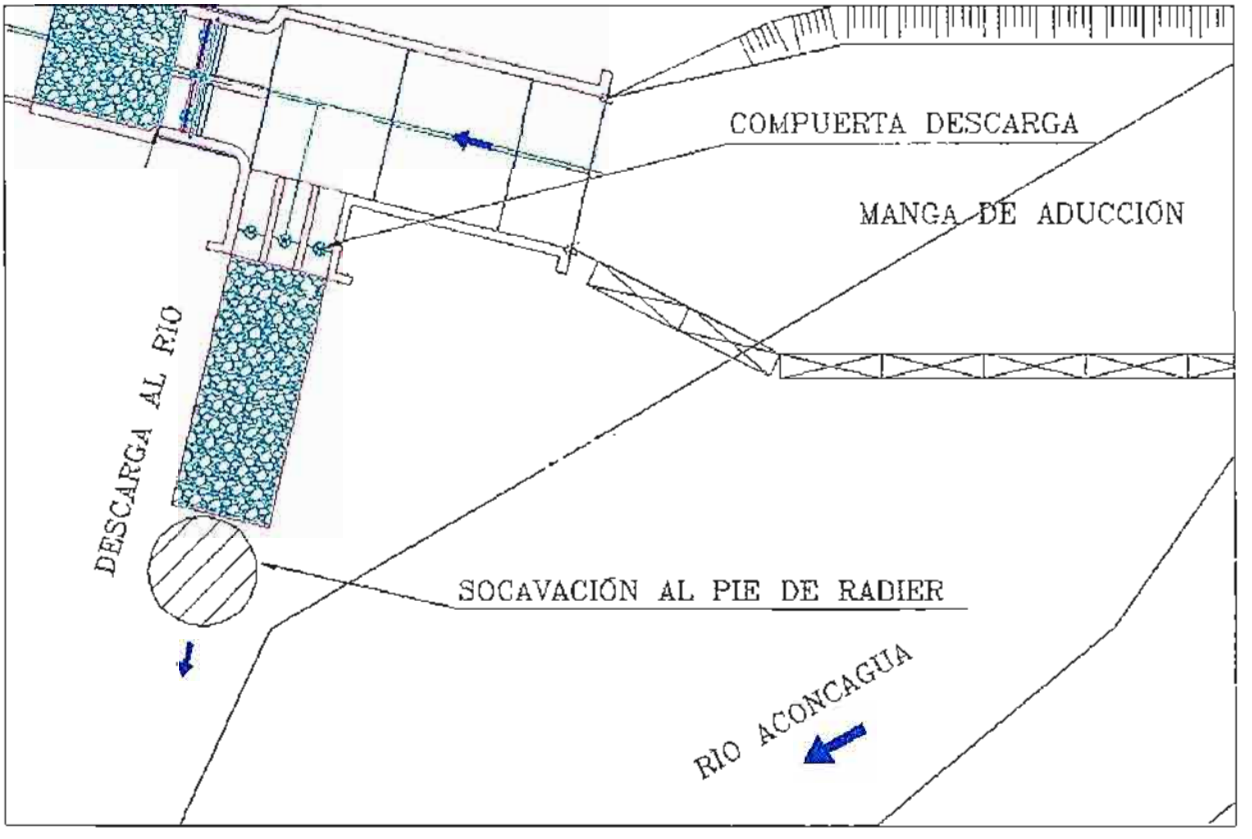
7.5.6. Socavación al Pie de Compuertas de Descarga

7.5.6.1. Generalidades

Tal como se explica en el Volumen 3 del Manual de Carreteras, este fenómeno ocurre en la discontinuidad producida entre un radier y un lecho móvil. Los estudios se han enfocado principalmente hacia torrentes generados al pie de compuertas. En la Figura 7.5.6.1-1 se indica donde sería socavado el lecho del río.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.5.6.1-1
SOCAVACIÓN AL PIE DE RADIER



Fuente: Elaboración propia

7.5.6.2. Metodología

Se utilizó la metodología expuesta en el Volumen 3 del Manual de Carreteras para la estimación de la socavación al pie de radieres producida por torrentes (acápite 7.5). La metodología utiliza una fórmula genérica para estimar la profundidad máxima de la fosa para el caso de torrentes plenamente desarrollados (torrentes libres) y torrentes con resaltos ahogados (torrentes ahogados). La expresión es la siguiente.

$$S + h_d = A \cdot {h_d}^{w} \cdot \frac{H^{x} \cdot q^{y}}{{d_{90}}^{z}}$$

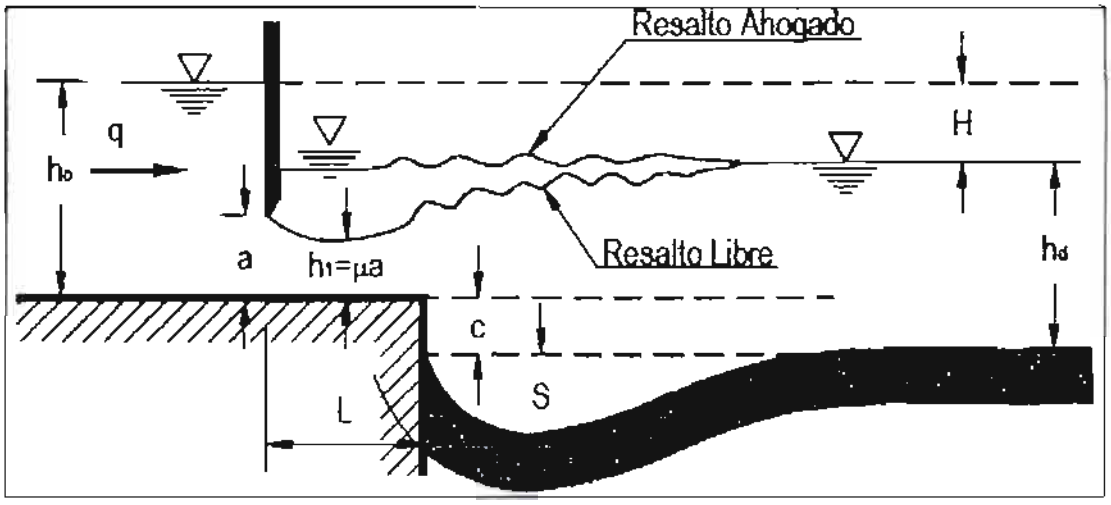
Donde S corresponde a la socavación máxima al pie del radier (m), h_d la altura del escurrimiento aguas debajo de la fosa (m), H la carga o diferencia entre el nivel de aguas arriba de la compuerta y de aguas abajo de la corriente (m), q el caudal por unidad de ancho ($m^3/s/m$), d_{90} el diámetro 90% que pasa del sedimento del lecho (mm), x, y, z, w y A factor según el Cuadro 7.5.6.2-1. Para mayor comprensión se incluye la Figura 7.5.6.2-1.

CUADRO 7.5.6.2-1
PARÁMETROS DE LA FÓRMULA DE SOCAVACIÓN AL PIE DE RADIER PRECEDIDOS DE COMPUERTAS

Autor	A	x	y	z	w	Observaciones
Eggenberger - Müller	10,35	0,5	0,6	0,4	0	Torrente ondulante ahogado
Eggenberger - Müller	10,4	0,5	0,6	0,4	0	Torrente ondulante libre
Shalash	9,65	0,5	0,6	0,4	0	L/H = 1,5 Torrente ahogado
Qayoum	8,05	0,22	0,4	0,22	0,4	Torrente ahogado

Fuente: Volumen 3, Manual de Carreteras.

FIGURA 7.5.6.2-1
SOCAVACIÓN AL PIE DE RADIERES PRODUCIDOS POR TORRENTES



Fuente: Volumen 3, Manual de Carreteras.

7.5.6.3. Datos del Problema

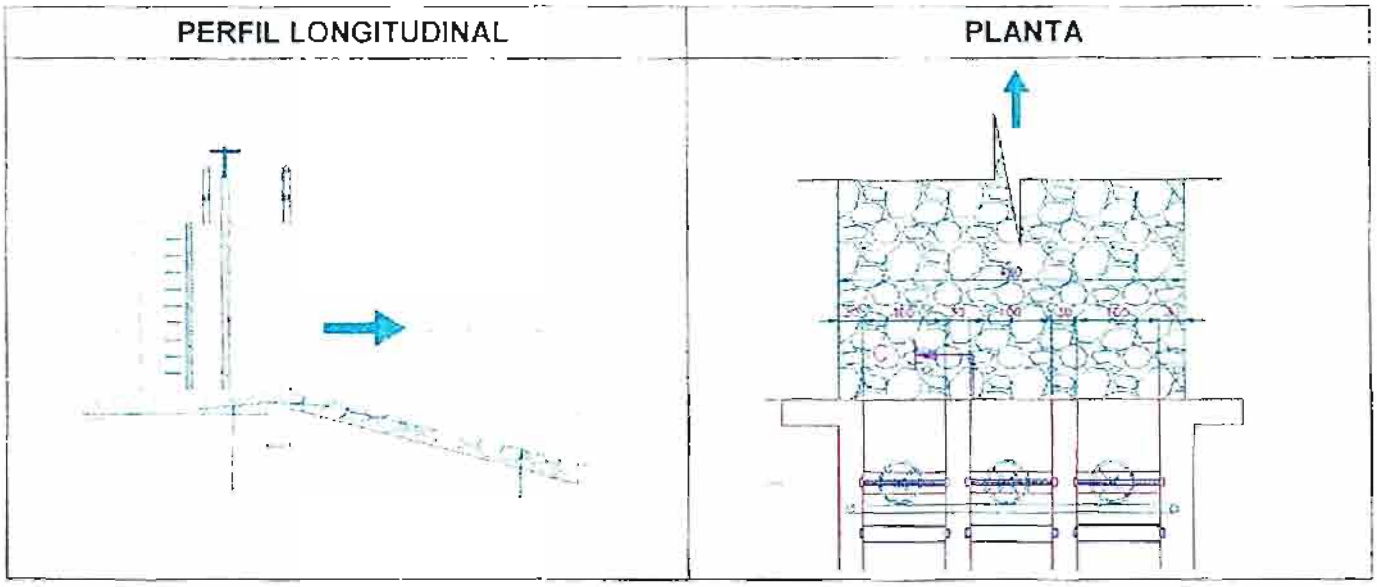
Se cuenta con los siguientes datos obtenidos de la Memoria: Diseño Hidráulico Bocatoma del presente estudio.

Q (m³/s)	= 13,8	q (m³/m/s)	= 3,83	h1 (m)	= 0,627
b (m)	= 3,6	h_0 (m)	= 2,78	L (m)	= 10

Además se cuenta con la geometría de la descarga, la cual se presenta en la Figura 7.5.6.3-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.5.6.3-1
GEOMETRÍA DESCARGA A RÍO



Fuente: Elaboración propia

7.5.6.4. Criterios de cálculo

Para realizar el cálculo se tomaron los siguientes supuestos o criterios:

- Para estimar la altura aguas abajo del radier, se considera que no se ha alcanzado el curso natural del río, por lo tanto el caudal es el mismo. Q=13,8 m³/s.
- El tipo de torrente es ondulante y libre, por lo tanto se utilizan los parámetros de Eggenberger – Müller para dicha condición.
- La altura del flujo al pie del radier es igual a h1 y la altura hd corresponde a la altura conjugada.
- La sección se mantiene constante en todo el tramo.
- Se considera el largo del terraplén despreciable y la diferencia de cota entre el inicio del radier y su final igual al parámetro c de la Figura 7.5.6.2-1.

7.5.6.5. Cálculos y Resultados

Los cálculos se encuentran en el Anexo 7-5. En el Cuadro 7.5.6.5-1 se resumen los resultados obtenidos.

FIGURA 7.5.6.5-1
RESULTADOS

Parámetro	Valor
Área de flujo A (m^2)	2,3
Velocidad del flujo v (m/s)	6,11
Ancho de escurrimiento libre T (m)	3,60
Dh=A/T (m)	0,627
Número de Froude	2,47
Altura de escurrimiento aguas abajo hd (m)	1,90
Pendiente del radier de descarga i	0,05
Escalón entre el radier y el lecho móvil c (m)	0,50
H (m)	1,38
S+hd (m)	4,78
S (m)	2,88

Fuente: Elaboración propia

El valor calculado de socavación es de 2,88 m, se adopta una socavación al pie del radier de 2,9 m. Se recomienda incluir una corona de enrocado de protección de la obra.

7.5.7. Sondajes en bocatoma

Tal como se indicó anteriormente en el Acápite 3.3 de estudios básicos, se realizaron dos sondajes de 15 m de profundidad, cuyas estratigrafías se muestran en el Volune 2.

Las características del suelo indicadas en la estratigrafía del sondaje 1, revelan que existen gravas gruesas y medias, con arena hasta los 4,5 m de profundidad, luego cambia la composición del suelo a un maicillo cementado lo que señala que dicho estrato pertenece a la continuación de la estructura del cerro. De acuerdo a lo anterior, se considera que la socavación no superaría los 5 m.

7.5.8. Resumen de Resultados y Conclusiones

Con respecto a la socavación en la bocatoma, asociada a la crecida de periodo de retorno de 100 años, se observa que los cálculos realizados bajo las distintas metodologías muestran diferencias cercanas a los 1,5 m de profundidad de socavación para el caudal de diseño de 1,096 m^3/s, en donde el método de Melville solo alcanzaría un 71% de la profundidad alcanzada por el método de Froehlich. La socavación total según Melville sería de 3,17 m y 4,48 m según Froehlich. En el Cuadro 7.5.8-1 se resumen las profundidades parciales de socavación obtenidas a partir de los métodos empíricos y en el Cuadro 7.5.8-2 se incluye la socavación total.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Cabe destacar que la estratigrafía del sondaje 1 presenta gravas y arenas hasta una profundidad de 4,5 m, por lo que no existiría un cambio relevante en la granulometría del lecho que limitara las magnitudes de socavación obtenidas a través de los cálculos realizados anteriormente.

CUADRO 7.5.8-1
SOCAVACIÓN GENERAL Y LOCAL

Método	Socavación General (m)	Socavación Local (m)
USBR	no válido	
Lischtvan Letvediev Maza	0,80	
Melville		2,37
Froehlich		3,68

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 7.5.8-2
SOCAVACIÓN GENERAL Y LOCAL

Método	Socavación General (m)	Socavación Local (m)	Socavación Total (m)
Melville + Lischtvan Letvediev Maza	0,80	2,37	3,17
Froehlich + Lischtvan Letvediev Maza	0,80	3,68	4,48

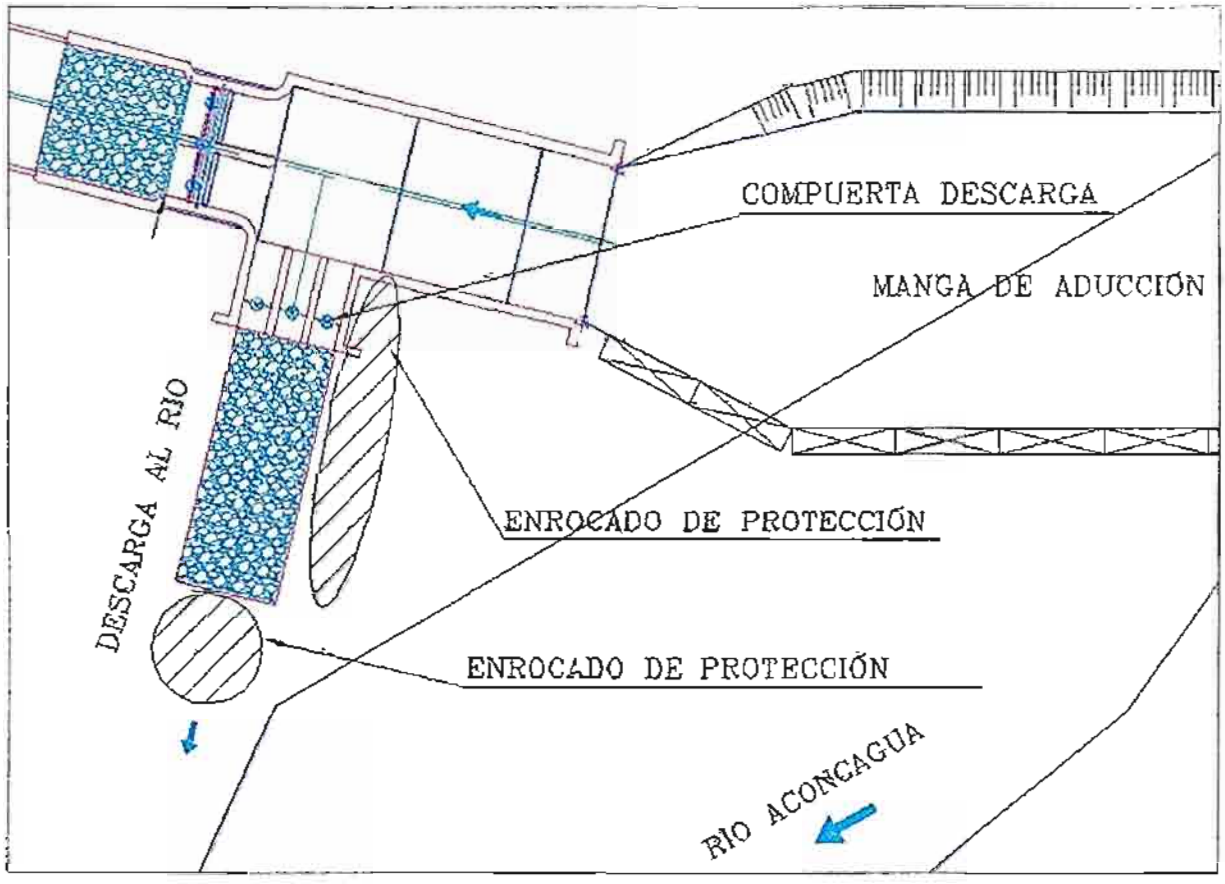
Fuente: Elaboración propia

En el caso de la socavación aguas abajo de las compuertas de descarga, la profundidad estimada es de 2,9 m. De acuerdo a las características propias del canal de descarga (radier aguas abajo de la compuertas de descarga) al no presentar paredes que contengan el flujo, el área mojada se ampliará hacia sus costados y se generarán pérdidas que aminorarán los efectos sobre el lecho del río al final del radier de descarga, es decir, se disminuiría el efecto de socavación. También se tendría una disminución de la socavación cuando aguas abajo de las compuertas exista un colchón de agua propia del escurrimiento del río Aconcagua.

Como conclusión, se recomienda proteger las obras, que componen la nueva bocatoma proyectada, por medio de enrocados en los sectores indicados en la Figura 7.5.8 1, con el fin de evitar la socavación del lecho del río soportante de dichas obras.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.5.8-1
SOCAVACIÓN GENERAL Y LOCAL



Fuente: Elaboración propia

7.6. DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS

7.6.1. Ecuaciones y Relaciones Utilizadas en el Cálculo

7.6.1.1. Eje Hidráulico en Diseño de Canales

El eje hidráulico de los canales gravitacionales se obtuvo mediante la aplicación del software HEC-RAS, con el que se realizó la verificación y dimensionamiento de canales.

El eje hidráulico se calcula resolviendo la ecuación de la energía y utilizando un procedimiento llamado "paso a paso" o "paso estándar" entre una sección transversal y otra, que viene dado por la expresión:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde se tiene que:

WS1, WS2:	Elevaciones de la superficie del agua en las secciones transversales 1 y 2.
V1, V2:	Velocidades promedias (caudal/área de flujo).
α1, α2:	Coeficientes para ponderar las velocidades.
g:	Aceleración de gravedad.
h_e:	Pérdida de carga.

La pérdida de carga (he) entre dos secciones transversales está compuesta de la pérdida por fricción y la pérdida por contracción o expansión. La ecuación para calcular la pérdida total de energía es:

$$h_e = L\overline{S_f} + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right|$$

Donde se tiene que:

L:	Longitud del tramo equivalente.
Sf:	Pendiente de fricción representativa entre dos secciones.
C:	Coeficiente de pérdida por expansión o contracción.

La longitud equivalente, L, se calcula:

$$L = \frac{L_{lob}\overline{Q}_{lob} + L_{ch}\overline{Q}_{ch} + L_{rob}\overline{Q}_{rob}}{\overline{Q}_{lob} + \overline{Q}_{ch} + \overline{Q}_{rob}}$$

Donde:

Llob, Lch, Lrob: Largo del tramo entre secciones para flujo en la planicie de la izquierda, el canal principal y la planicie derecha, respectivamente.
Qlob, Qch, Qrob: Promedio aritmético de los flujos en las dos secciones en la planicie de la izquierda, el canal principal y la planicie derecha, respectivamente.

La capacidad de transporte se calcula para cada subdivisión usando la siguiente ecuación (En el Sistema métrico de unidades):

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3}$$

Donde se tiene que:

K: Capacidad de transporte de una sección
n: Coeficiente de rugosidad de Manning de una subdivisión
A: Área de flujo de una subdivisión
R: Radio hidráulico de una subdivisión

El programa suma todas las capacidades incrementales para obtener la capacidad total de las planicies de la izquierda y la derecha. Normalmente la capacidad del canal principal se calcula como un solo elemento (sin subdivisión). La capacidad total de una sección se obtiene al sumar las tres capacidades de las subdivisiones (izquierda, canal, y derecha).

7.6.1.2. Rugosidad

Los rangos de valores básicos de la rugosidad para el diseño según la experiencia del Consultor y a la bibliografía especializada, se incluyen en el Cuadro 7.6.1.2-1.

CUADRO 7.6.1.2-1
VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" de MANNING

Material	"n" de Manning
Acero liso	0,011 - 0,012
Acero corrugado	0,024 - 0,026
Hormigón	0,013 - 0,018
Shotcrete	0,022 - 0,025
Albañilería de piedra	0,018 - 0,025
Suelo (sección bien perfilada)	0,025 - 0,030
Roca sin revestir (muy variable)	0,033 - 0,045

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos Ven te Chow

7.6.1.3. Velocidades Admisibles

Aún cuando los canales existen y las obras del proyecto corresponden a planteamientos de alternativas para mejorar el sistema de distribución, en las zonas de canales en que se verificó la capacidad del canal también se verificó las velocidades del flujo, de acuerdo a los criterios definidos a continuación. Estos criterios también serán aplicados a

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

las nuevas conducciones previstas en el proyecto, como es el caso de canales unificados, secciones revestidas, descargas y otros.

a) *Velocidad Máxima Admisible*

Se define como velocidad máxima admisible la velocidad de referencia que garantiza la estabilidad de los taludes en aquellas conducciones sin revestir y no produce abrasión en el revestimiento cuando se trate de conducciones revestidas. Se entiende como velocidad de referencia aquella que ocurre con el caudal de diseño de la obra en análisis. En el Cuadro 7.6.1.3-1, se presenta la velocidad máxima admisible, según tipo de obras y tipo de construcción.

CUADRO 7.6.1.3-1
VELOCIDADES MÁXIMAS ADMISIBLES (m/s)

Tipo de Obra	Tipo de Construcción	Velocidad (m/s)
Definitivas con flujo permanente (Canales matrices y derivados de primer orden, Tomas directas, Entregas)	Acero	8
	Revestidas con hormigón	4
	Sin revestir, en roca	2
	Parcialmente revestida	3
	(solera), en roca	1
	Sin revestir, en suelo	1
Definitivas con flujo ocasional (Rápidos de descargas de desagües, Descargas, Obras para aguas lluvias)	Revestidas con hormigón	4
	Sin revestir, en roca	5

Fuente: Especificaciones Técnicas para Proyectos de Canales - Dirección de Riego 1960.

b) *Velocidad Mínima Admisible*

La velocidad mínima admisible es la velocidad más baja que no produce sedimentación y no permite el crecimiento de vegetación ni de plantas acuáticas en las obras de conducción, en lo posible.

Se admiten los siguientes valores para velocidades mínimas admisibles:

- Canales en tierra Vmin = 0,60 m/s
- Canales en roca y conducciones revestidas Vmin = 0,75 m/s

7.6.1.4. Revanchas

Para definir los criterios adoptados para dimensionar las revanchas de las diferentes conducciones, éstas se han separado de acuerdo a su tipo de régimen: subcrítico y supercrítico.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.6.1.5. Escurrimiento Subcrítico

Se proyectarán revanchas equivalentes a un 15% de la altura normal del escurrimiento, con un mínimo de 0,20 m.

7.6.1.6. Escurrimiento Supercrítico

La revancha mínima a ser adoptada en presencia de escurrimiento supercrítico, será definida por la expresión:

$$r = 0{,}60 + 0{,}03 \cdot v \cdot h^{1/3}$$

Donde:

R: revancha (m)
v: velocidad media del flujo (m/s)
h: altura de agua (m)

Las revanchas de diseño se verificaron con las recomendaciones propuestas en la publicación "Canals and Related Structures" Design Standards N° 3, para canales revestidos.

Para el proyecto no se emplearon revanchas menores de 0,20 m.

7.6.1.7. Transiciones

a) *Escurrimiento Subcrítico*

Se adoptó un valor no inferior a 12,5° para el ángulo formado entre el eje del canal y la prolongación de la línea lateral al canal que une el inicio y fin de transición.

b) *Escurrimiento Supercrítico*

En este caso, las variaciones angulares en planta de los conductos no pueden ser inferiores al valor definido por la siguiente expresión:

$$\tan \alpha = \frac{1}{3} \cdot F$$

Donde F es el valor medio del número de Froude en la zona de la transición.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.6.1.8. Diseño de Compuertas

En el dimensionamiento se pueden presentar dos situaciones de escurrimiento aguas abajo de la compuerta. La compuerta puede funcionar libre, es decir que se produce un resalto completo aguas abajo de la compuerta que es rechazado hacia el canal, o bien la compuerta es ahogada, y se produce un resalto incompleto al pie de la compuerta

Se busca determinar la apertura de la compuerta tal que la altura del pelo de agua, aguas arriba de estas sea igual a la altura requerida para riego en el saliente. La ecuación general del gasto que escurre bajo la compuerta es la que se presenta a continuación:

$$Q = mab\sqrt{2gh} \qquad (1)$$

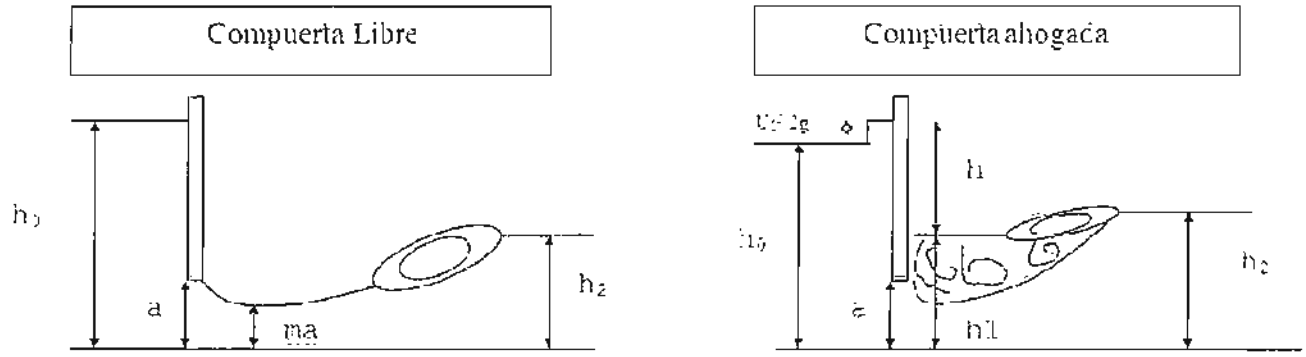
Donde

Q: es el caudal que basa bajo la compuerta
A: es la apertura de la compuerta
b: es el ancho del canal en la compuerta
h: es la carga disponible entre aguas arriba y aguas abajo de la compuerta
g: es la aceleración de la gravedad
m: es el coeficiente de gasto de la compuerta.

Para compuertas frontales, el coeficiente m corresponde a la contracción de la sección de escurrimiento, y vale 0,611, valor propuesto en el manual "Hidráulica", J.F. Domínguez, IV Edición. Además hay que tomar en cuenta el estrechamiento que se produce cuando la obra cuenta con dos compuertas frontales, lo cual se toma directamente en cuenta en las ecuaciones que se presentan en la Figura 7.6.1.8-1 .

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.6.1.8-1
ESQUEMA Y ECUACIONES DISEÑO COMPUERTAS



Fuente: Elaboración propia

a) ***Compuerta Libre***

Corresponde al caso en el que se produce un resalto completo al pie de la compuerta. Es posible calcular directamente el gasto que escurre bajo la compuerta en función de la altura del pelo de agua, aguas arriba de la compuerta mediante las ecuaciones siguientes:

$$Q = Cba\sqrt{2gh_0} \qquad (2)$$

Además:

$$Q = mba\sqrt{2g(E_0 - ma)} \qquad (3)$$

Donde

Q: es el caudal que pasa bajo la compuerta
C: es un coeficiente de gasto para compuertas libres
A: es la apertura de la compuerta
h_0: es la altura del agua, aguas arriba de la compuerta
m: es el coeficiente de contracción
b: es el ancho de la compuerta.
E_0: es la energía del flujo en la sección 0

Combinando las ecuaciones (2) y (3) se obtiene:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$m = \frac{C^2}{2n} + \sqrt{\frac{C^4}{4n^2} + C^2} \qquad (4)$$

con

$$n = \frac{h_0}{a} \qquad (5)$$

El coeficiente C se obtiene de las experiencias de B. Gentillini "La Houille Blanche", Abril 1947. Según un ajuste de mínimos cuadrados se calcula el valor de C con la expresión siguiente:

$$C = 0{,}54265\left(\frac{h_0}{a}\right)^{0{,}04177} \qquad (6)$$

Con las ecuaciones (4), (5), y (6), dado que el valor de h_0 es conocido y corresponde a la cota del pelo de agua en el saque lateral, se determina por iteración el valor del parámetro "a" de apertura de la compuerta tal que el caudal Q que pasa por la compuerta sea igual al caudal pasante por derechos.

b) ***Caso Compuerta Ahogada***

En este caso el flujo en la compuerta no tiene la energía suficiente para rechazar el resalto. Para determinar las alturas características del escurrimiento se parte de la conservación de la momenta:

$$M_1 = M_2 \qquad (7)$$

$$M_1 = \frac{Q^2}{g(mab)} + \frac{1}{2}bh_1^2 \qquad M_2 = \frac{Q^2}{g(h_2 B)} + \frac{1}{2}Bh_2^2 \qquad (8)$$

$$2\frac{Q^2}{g}\left(\frac{1}{Bh_2} - \frac{1}{bma}\right) = bh_1^2 - Bh_2^2 \qquad (9)$$

Además se tiene la ecuación de la compuerta:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$Q = mab\sqrt{2gh} \qquad (10)$$

Por lo tanto se puede deducir el valor de h_1 en función de h y h_3, y de los parámetros del canal y la compuerta:

$$h_1 = \sqrt{\frac{B}{b}h_2^{\,2} + 4mah\left(\frac{mab}{Bh_2} - 1\right)} \qquad (11)$$

h es conocido y se deduce de la ecuación (11).

Luego se tiene la ecuación de la carga siguiente:

$$h_0 + \frac{U_0^{\,2}}{2g} = h_0 + \frac{Q^2}{2g(h_0 B)^2} = h_1 + h \qquad (12)$$

Donde Los subíndices 1 y 3 corresponden al valor en la sección 1 o 3.

M:: es la momenta
Q: es el caudal total que pasa bajo la compuerta
B: es el ancho del canal aguas abajo de la compuerta
B: es el ancho del canal en la compuerta
H: es la carga entre aguas arriba y aguas abajo de la compuerta
h_i: es la altura del pelo de agua
m: es el coeficiente de contracción del flujo

En este caso las alturas h_0 y h_2 son conocidas. Se determina por iteración el valor del parámetro "a", que permite realizar las condiciones de las ecuaciones (10), (11) y (12). Estas ecuaciones permiten determinar según corresponda, el valor de apertura de las compuertas frontales cuando la carga en el canal pasante no es suficiente para permitir el ingreso del agua en el canal saliente, o en el caso de que la carga sea suficiente, permite determinar la apertura de la compuerta de los saques laterales para asegurar el ingreso del caudal correspondiente a los derechos.

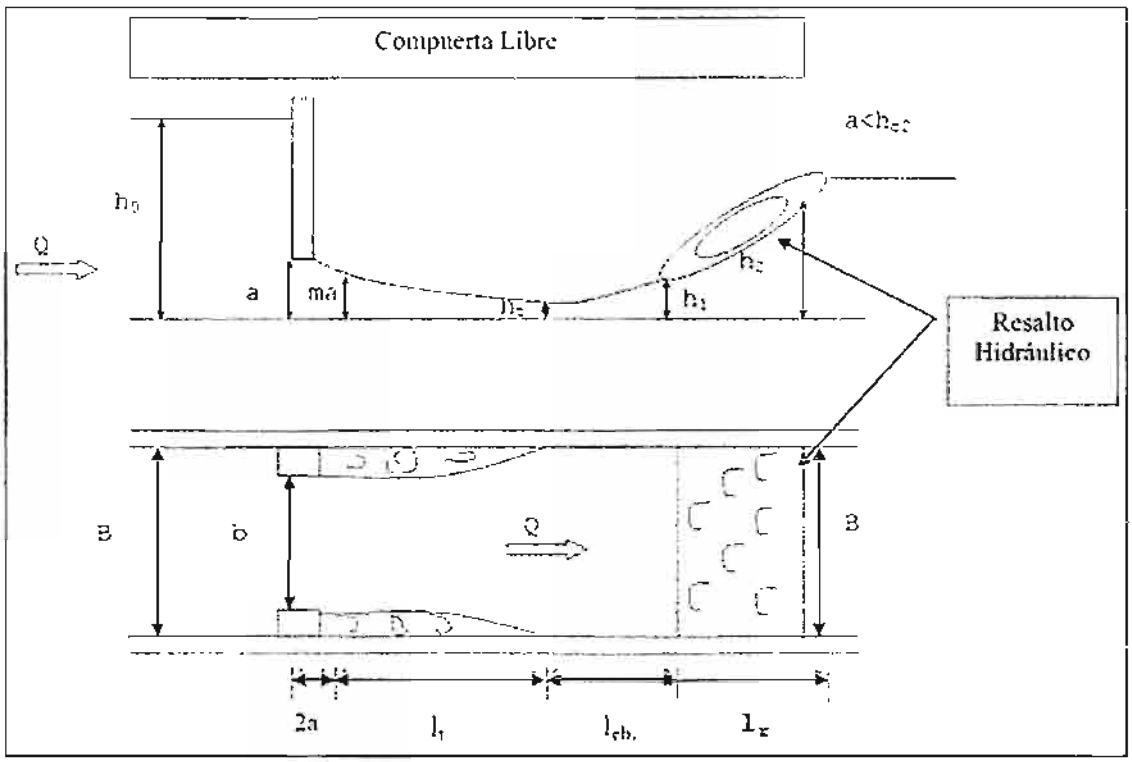
c) *Longitud y Ubicación del Resalto*

Como se indicó, en el caso de que las compuertas estén libres se puede producir un resalto levemente rechazado al pie de la compuerta. En este caso es necesario estimar la longitud de la perturbación en la expansión aguas abajo de la compuerta. Para estimar la longitud de la perturbación es necesario considerar, la expansión del flujo aguas abajo de la

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

compuerta, el desarrollo de un régimen de torrente, y finalmente el resalto hidráulico que permite disipar la energía del escurrimiento antes de alcanzar el régimen de río establecido en el canal aguas abajo de la obra. En el esquema de la Figura 7.6.1.8-2 se presenta el eje hidráulico cualitativo del flujo aguas abajo de la compuerta.

FIGURA 7.6.1.8-2
EJE HIDRÁULICO CUALITATIVO



Fuente: Elaboración propia

d) *Expansión del Flujo al Pie de la Compuerta*

En este caso el flujo al pie de la compuerta es de torrente, para la estimación de la longitud de la expansión del flujo, se calcula el caso más desfavorable en el que dicho torrente se expande hasta ocupar toda la sección de ancho B sin que se produzca el resalto hidráulico.

Cálculo de l_t : este tipo de choros se expande con un ángulo $\alpha \approx 10°$, así se tiene :

$$\tan\alpha \approx \frac{B-b}{2l_t} \Rightarrow l_t \approx \frac{B-b}{2\tan\alpha} \Rightarrow l_t \approx 2{,}8(B-b)$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

e) *Altura del Escurrimiento en la Expansión*

Una vez que el flujo se ha expandido a la totalidad del canal, es posible estimar la altura del escurrimiento, suponiendo las condiciones más exigidas, en las que las pérdidas de carga friccionales y singulares son iguales a cero. Las ecuaciones son las siguientes:

$$ma + \frac{Q^2}{g(mab)^2} = h_t + \frac{Q^2}{2g(bh_t)^2} \qquad (13)$$

o bien

$$h_t = \sqrt{\frac{Q^2}{2gB^2(E_c - h_t)}} \qquad (14)$$

Donde ht es la altura de escurrimiento una vez expandido el flujo. Donde Ec es la energía del flujo en la sección contraída y vale

$$Ec = ma + \frac{Q^2}{g(mab)^2}. \qquad (15)$$

f) *Cálculo de la Altura Conjugada del Resalto*

La altura del escurrimiento en el canal aguas abajo de la compuerta es fija y determinada por las condiciones de agua abajo. Por lo tanto, suponiendo un canal rectangular a la salida de la compuerta se puede determinar la altura conjugada de torrente del resalto que se debe producir aguas abajo de la compuerta. Esto se calcula con la ecuación siguiente, del manual de Hidráulica de F.J.D. (p.320)

$$X_1 = -\frac{X_2}{2} + \sqrt{\frac{X_2^2}{4} + \frac{2}{X_2}} \qquad (16)$$

Donde:

X1 = h1/hc
X2=h2/hc
h_c es la altura crítica en el canal
h_1 es la altura conjugada del resalto de torrente.
h_2 es la altura del escurrimiento aguas abajo de la obra

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

g) *Ubicación del Resalto*

Para determinar la posición del resalto se comparan las alturas h_1 y h_t, se pueden producir tres casos:

- Caso 1 : $h_1 = h_t$: En este caso el resalto se produce inmediatamente al termino de la expansión del flujo, y se calcula la longitud del resalto entre las alturas h_1 y h_2.
- Caso 2 : $h_1 < h_t$: En este caso, el resalto tienden a acercarse a la compuerta. Para emplazarse por el lado de la seguridad, en este caso se supondra que el resalto se produce en el mismo lugar que en el caso anterior y con la longitud del resalto que se produce entre las alturas h_1 y h_2
- Caso 3 : $h_1 > h_t$:en este caso, el resalto es rechazado más alla del término de la expansión del flujo aguas abajo de la compuerta. En este caso, es necesario calcular un eje hidráulico en el canal rectangular, hasta que la altura del flujo iguale la altura h_1. El eje hidráulico se calcula con el método escalonado presentado anteriormente, de éste se obtiene la longitud $l_{e.h.}$, y la distancia a la cual se produce el resalto contabilizida desde la expansión del flujo.

h) **Longitud del Resalto**

La longitud del resalto se determina según lo indicado en el manual de Hidráulica de F.J.D. mediante la ecuación obtenida de las experiencias de A. Alamos y E. Gallardo (1944):

$$l_r = (18 - 20\frac{h_t}{h_{c2}})h_{c2}$$

Donde

h_{c2} es la altura crítica para un canal de ancho "B" de caudal Q
l_r es la longitud del resalto
h_1 es la altura conjugada del resalto de h_2

i) *Longitud Total de la Perturbación*

La longitud total de la perturbación se obtiene sumando las longitudes siguientes:

- Longitud en la que se contrae la vena aguas abajo de la compuerta, igual aproximadamente a : 2*a

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Longitud de la expansión del flujo : lt
- En el caso 3 del párrafo 3.4.- de esta memoria se suma la longitud en el que el pelo de agua alcanza la altura conjugada del resalto $l_{e.h.}$
- Longitud l_r del resalto.

Finalmente la longitud total de la perturbación estimada será de:

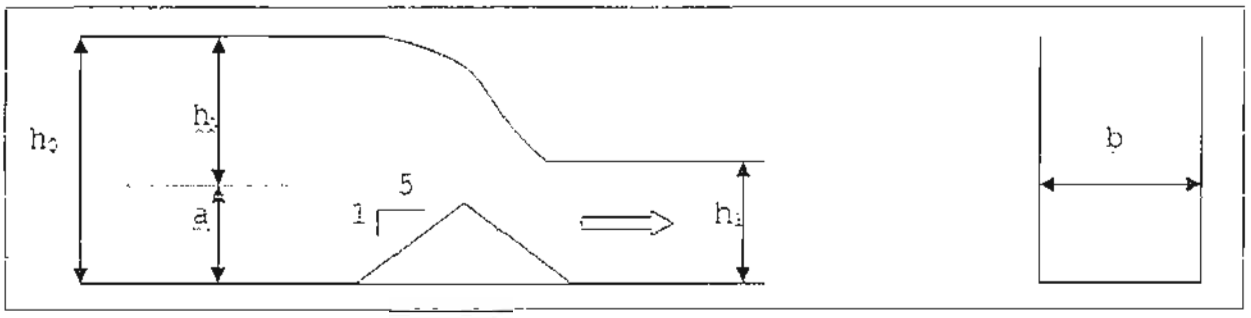
$$l = 2a + 2{,}8(B - b) + l_{e.h.} + l_r$$

7.6.1.9. Aforadores

El aforador de barrera triangular es una estructura hidráulica de amplio uso en Chile, cuyo diseño se realiza de acuerdo al procedimiento indicado en el texto "Hidráulica" de F.J. Domínguez IV Edición. Se trata de una estructura que tiene una barrera de sección rectangular, con taludes 5:1 (H/V), con umbral redondeado que evita el despegue de la vena líquida. Para una determinada geometría de la barrera, dado un caudal, es posible determinar una altura de aguas abajo límite, a partir de la cual la barrera queda influenciada. Como generalmente se conoce la altura de aguas abajo, el procedimiento de diseño consiste en determinar un valor adecuado de la altura de la barrera para garantizar que esta quede efectivamente aislada de aguas abajo, esto se muestra en la Figura 7.6.1.9-1.

La principal ventaja de esta estructura está en ser poco sensible a los embanques del canal aguas arriba de la barrera. Esto significa que la curva de descarga no se altera significativamente.

FIGURA 7.6.1.9-1
ESQUEMA DE UBICACIÓN DE GRADA Y SECCION DE UN AFORADOR



Fuente: Elaboración propia

Conocida la altura de h_1 del canal, la altura mínima de la barrera, necesaria para que la estructura quede aislada de aguas abajo debe ser determinada gráficamente en el ábaco de la pág. 579 del texto citado, este se presenta en la Figura 7.6.1.9-2 de esta metodología. Dado el caudal Q, el cálculo se realiza de la siguiente manera:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- $h_c = \left(\frac{Q}{b\sqrt{g}} \right)^{2/3}$
- Se calcula $X_1 = \frac{h_1}{h_c}$
- Con la curva de la Fig. 1 se determina $K = \frac{a}{h_c}$
- $a_{min} = K.h_c$

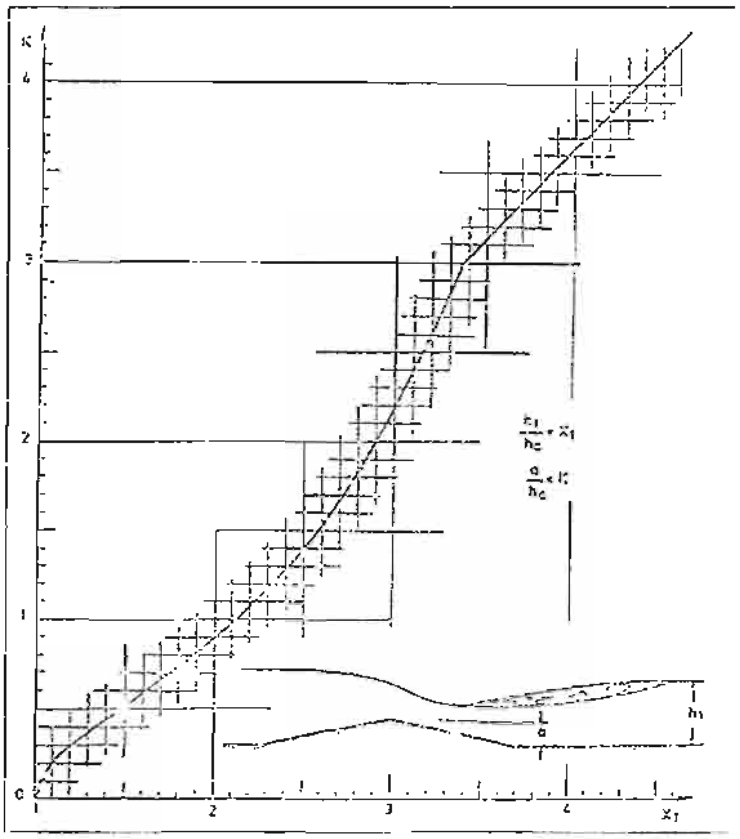
Una vez adoptado el valor de la altura de la grada, se debe calcular la altura de aguas en la sección de aguas arriba de la barrera.

Las ecuaciones son:

- $Q = mbh_v\sqrt{2gh_v}$
- $h_0 = h_v + a$
- m : coeficiente de gasto de la barrera, ábaco p. 579 F.J. Domínguez, el cual se reproduce en la Figura 7.6.1.9-2 dependiente del valor K.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

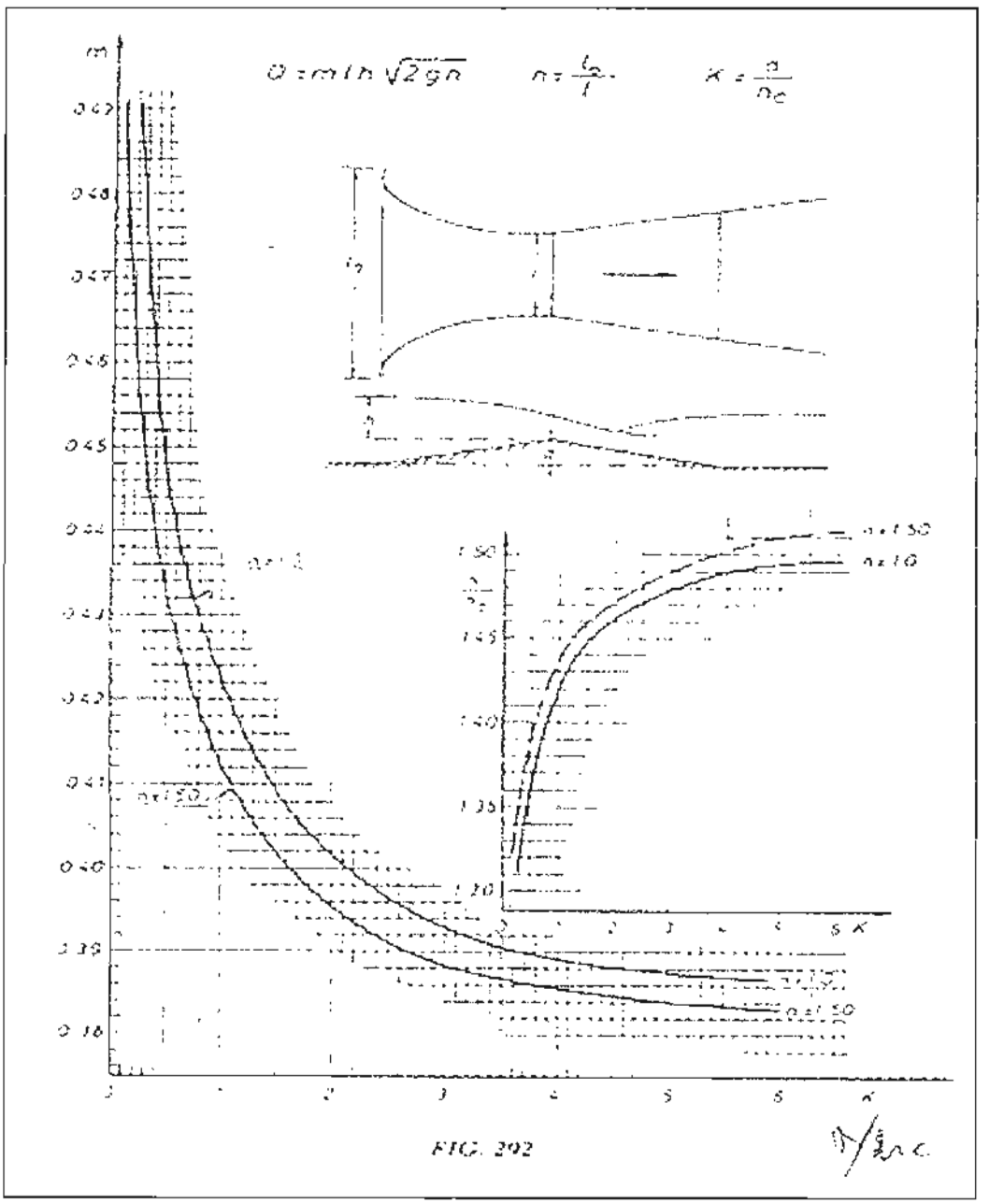
FIGURA 7.6.1.9-2
ABACO PARA EL CÁLCULO DE BARRERAS TRANGULARES EN CANALES DE ANCHO CONSTANTE N1



Fuente: pág. 579 Texto Francisco Javier Dominguez

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.6.1.9-3
ABACO PARA EL CÁLCULO DE BARRERAS TRIANGULARES EN CANALES DE ANCHO CONSTANTE N2



Fuente: pág. 581 Texto Francisco Javier Dominguez

Para determinar la curva de aforo se utiliza la expresión desarrollaca experimentalmente por el ingeniero Alfonso Ugarte (1997):

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$Q = 1.83\frac{bh_v^{1.56}}{a^{0.062}} \quad \text{con } 5 \geq K \geq 0{,}5$$

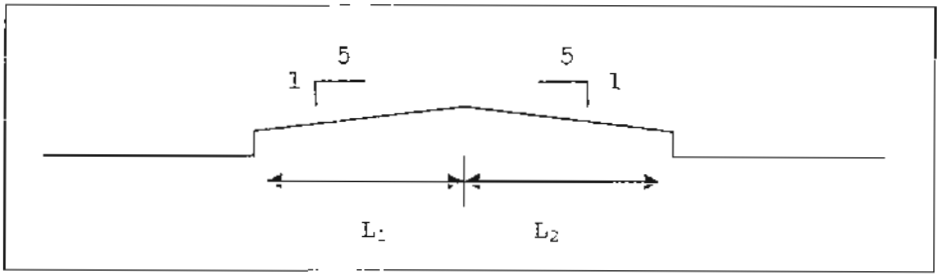
Esta expresión permite calcular h_v como:

$$h_v = \left(\frac{Qa^{0,062}}{1{,}83b}\right)^{1/1{,}56}$$

Dimensiones de la barrera

Se adoptan las recomendaciones de F.J. Domínguez para acortar las dimensiones de la barrera (p. 577 del texto "Hidráulica" de F.J. Domínguez IVª Edición). En la Figura 5.1.10-3.

FIGURA 7.6.1.9-4
ESQUEMA BARRERA



$L_1 \geq 1{,}5\ h_c$ $\qquad$ $L_1 < 5a$

$L_2 \geq 3\ h_c$ $\qquad$ $L_2 < 5^a$

Fuente: Hidráulica, Francisco Javier Domínguez

7.6.1.10. Rápidos de Conducción y Disipadores

El diseño se realizará de acuerdo a los criterios y metodología recomendada por Horacio Mery en su texto diseño de obras hidráulicas. rápido se compone de un canal con fuerte pendiente seguido de una piscina disipadora, al final de dicha piscina se generará un resalto el cual será controlado con una grada de subida, a continuación se expone la metodología:

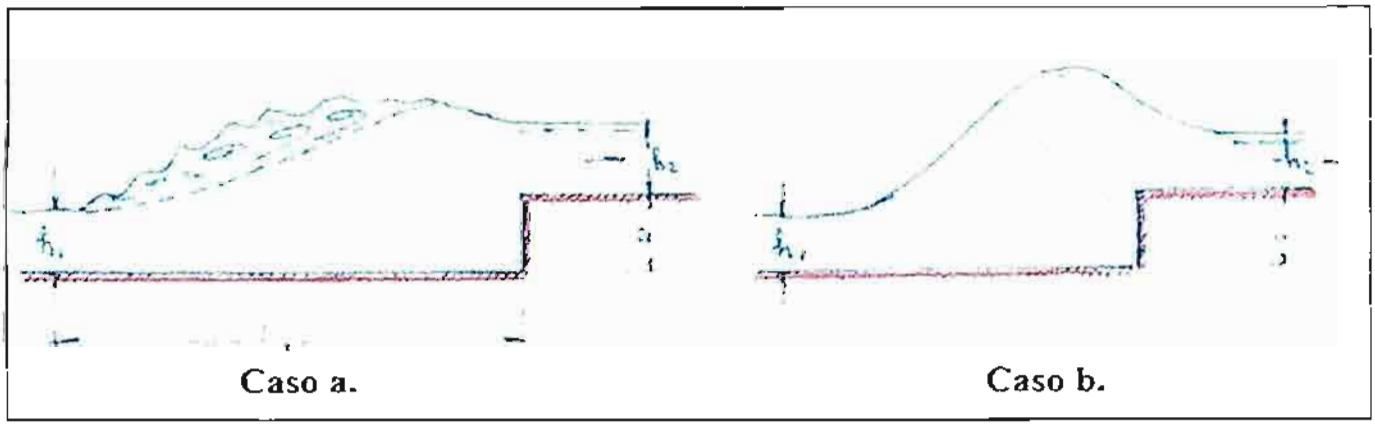
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.6.1.11. Disipador de Energía de Grada Vertical

a) *Resalto Controlado con una Grada Vertical*

Un torrente caracterizado por su altura "h1" y su velocidad "v1", se enfrenta con una grada de subida "a". Pueden presentarse dos situaciones como lo muestra la Figura 7.6.1.11-1. El primer caso (a) considera una altura "h2" sobre la grada (fijada por condiciones de agua abajo), altura suficiente para producir un resalto inmediatamente aguas arriba de la grada. El segundo caso (b) muestra una altura "h2" insuficiente para generar al resalto y el torrente remonta a la grada.

FIGURA 7.6.1.11-1
FORMACION DE RESALTOS



Fuente: Diseño de Obras Hidráulicas – H. Mery

Para analizar el caso (a) es posible aplicar el principio del Momentum, para lo cual se requiere conocer la fuerza con que actúa la superficie vertical de la grada sobre el escurrimiento. Esta fuerza es igual, por el principio de "acción y reacción", a la fuerza de las presiones sobre la grada. Los investigadores W.H. Hager y R. Sinniger de la Ecole Polytechnique Federal y del Swiss Federal Institute of Technology de Lausanne, determinaron que la fuerza de presión puede determinarse considerando una presión constante en toda al superficie de la grada dada por la presión hidrostática "h2 + a"

La fuerza de presión sobre la grada por unidad de ancho del canal, es:

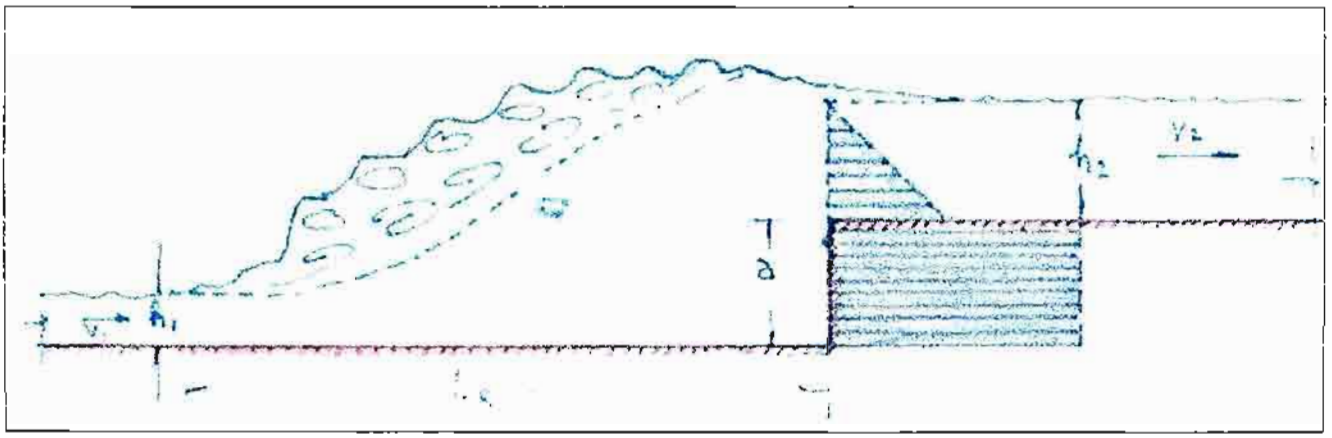
$$F_p = \gamma \, x \, a \, x \, (h_2 + a)$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La aplicación del principio del Momentum entrega la siguiente relación:

$$\frac{h_1^2}{2} + \frac{q^2}{g * h_1} = \frac{h_2^2}{2} + \frac{q^2}{g * h_2} + \ a\ x\ (h_2 + a)$$

FIGURA 7.6.1.11-2
DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES EN LA GRADA



Fuente: Diseño de Obras Hidráulicas – H. Mery

Se denomina $Y = \frac{h_2}{h_1}$ y A=$\frac{a}{h_1}$, la relación se transforma en lo siguiente:

$$F_1^2 = Y * \frac{Y^2 + 2 * A * Y + 2 * A^2 - 1}{2 * (Y - 1)}$$

Para verificar si se genera el resalto aguas arriba de la grada puede aplicarse la ecuación anterior. Si el F_1 calculado es mayor que el N° de Froude del torrente, significa que la grada junto con la altura h_2 es capaz de controlar un resalto más potente e inmediatamente aguas arriba de la grada se daría una altura de agua que ahogaría al torrente de aguas arriba. Si el F_1 calculado es menor que el N° de Froude del torrente, se produce el caso (b) de la Figura 7.6.1.11-2, el torrente choca con la grada y se encarama sobre ella.

7.6.1.12. Dimensionamiento de Compuertas de Entrega

La obra de entrega consiste en un rebaje de fondo en la sección del canal matriz, con el objeto de asegurar la salida del caudal de entrega, el que se controla mediante una compuerta que se ubica aguas abajo de la cual se expuso su metodología de cálculo enel punto 7.6.1.8. Luego del cruce bajo el camino de borde se ubica la obra de aforo, consistente

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail. oficina@arrauingenieria.cl

en una barrera triangular la cual debe controlar el resalto de la compuerta aguas arriba, que también fue expuesta su metodología anteriormente.

7.6.2. Resumen del Diseño de Obras

A continuación se muestran los resultados del predimensionamiento hidráulico.

7.6.2.1. Dimensionamiento Canal Matriz Unificado y Canal del Alto

Se presenta en el Cuadro 7.6.2.1-1 el dimensionamiento de la sección del canal producto del cálculo hidráulico.

CUADRO 7.6.2.1-1
DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL MATRIZ UNIFICADO Y ALTO CATEMU

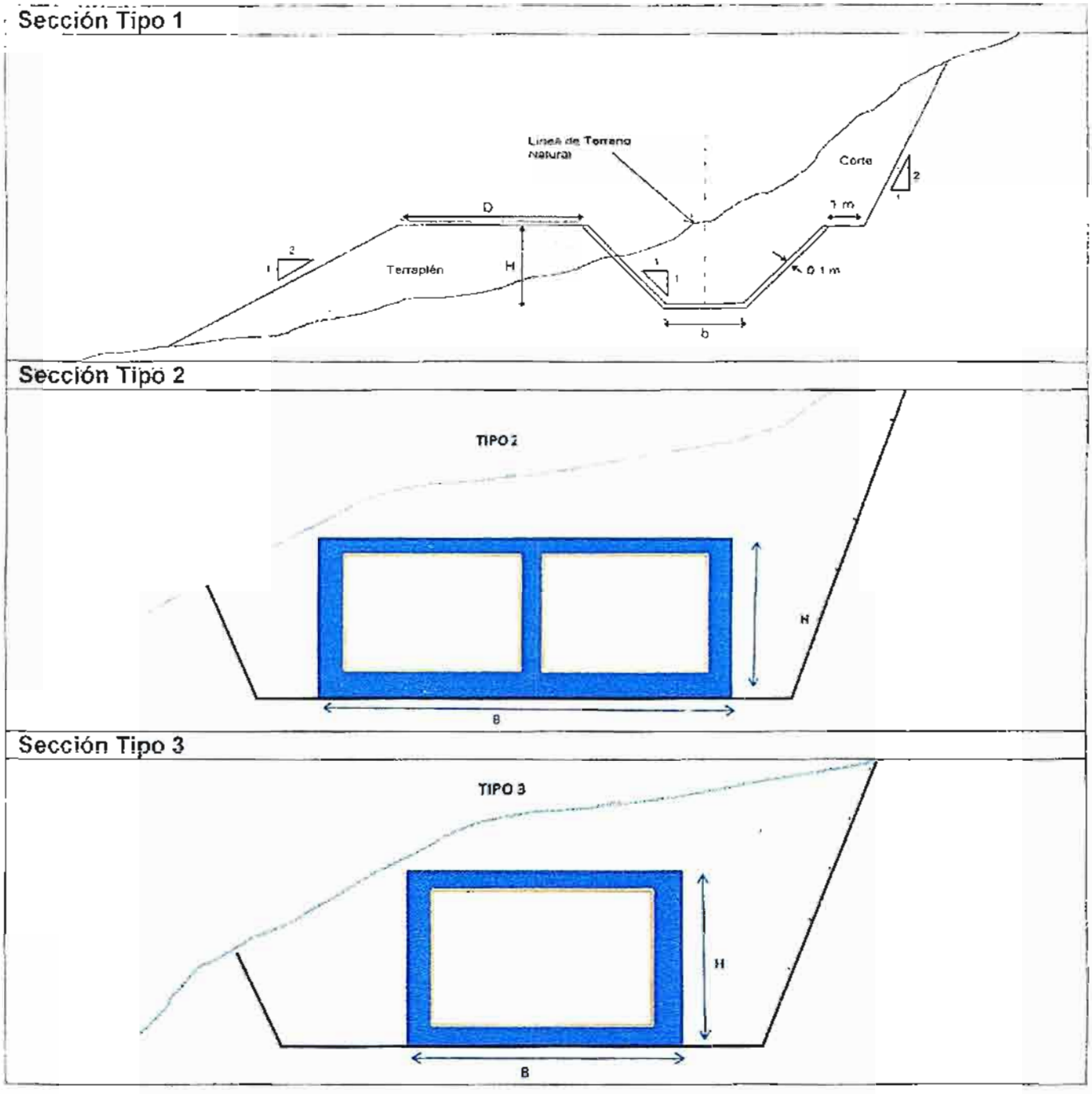
Km i (m)	Km f (m)	Cota i (msnm)	Cota f (msnm)	i	k	E (m)	B (m)	H (m)	D (m)	TIPO SECCION
0	590	520,65	519,50	0,0019492	1	0,1	3	1,7	6,4	1
590	1100	519,50	518,38	0,0021961	1	0,1	3	1,7	6,4	1
1100	2000	518,38	516,90	0,0016444	1	0,1	4	1,7	7,4	1
2000	2900	516,90	515,38	0,0016844	1	0,1	4	1,9	7,8	1
2900	3800	515,38	514,75	0,0007044	1	0,1	4	1,9	7,8	1
3800	5200	514,75	513,20	0,0011071	1	0,1	4	1,6	7,2	1
5200	5516	513,20	512,81	0,0012468	1	0,1	4	1,5	7	1
5516	5675	512,81	512,25	0,0034717	0		túnel			
5675	6000	512,25	511,66	0,0018277	1	0,1	3	1,5	6	1
6000	7200	511,66	509,75	0,0015917	1	0,1	3	1,7	6,4	1
7200	8130	509,75	508,50	0,0013441	1	0,1	3	1,7	6,4	1
8130	8900	508,50	507,77	0,0009481	1	0,1	3	1,8	6,5	1
8900	11000	507,77	504,09	0,0017524	1	0,1	3	1,6	6,2	1
11000	12200	504,09	502,30	0,0014917	1	0,1	3	1,6	6,2	1
12200	13200	502,30	500,80	0,0015000	1	0,1	3	1,6	6,2	1
13200	13700	500,80	500,03	0,0015333	1	0,1	3	2	7	1
13700	14400	500,03	498,96	0,0015333	0	0,25	4	2		2
14400	15800	498,96	497,57	0,0009929	0	0,25	4	2		2
15800	16000	497,57	497,40	0,0008500	0		túnel			
16000	16150	497,40	497,27	0,0009000	0	0,3	5	2		2
16150	17068	497,27	496,44	0,0009009	0	0,2	2,5	2		3
17068	17615	496,44	496,31	0,0002285	0	0,2	2,5	2		3

Fuente: Elaboración propia

Donde la forma de las secciones 1,2 y 3 se presentan en la Figura 7.6.2.1-1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.6.2.1-1
SECCIONES PROYECTADAS



Fuente: Elaboración propia

El detalle del diseño hidráulico se presenta en el Anexo 7-6 y en el plano OBR-01.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.6.2.2. Dimensionamiento Canal Abajo de Catemu

En el Cuadro 7.6.2.2-1 se presenta el resultado del dimensionamiento de la sección del canal producto del cálculo hidráulico. Para el diseño se consideró sólo la sección tipo 3.

CUADRO 7.6.2.2-1
DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL ABAJO DE CATEMU

Km i (m)	Km f (m)	Cota i (msnm)	Cota f (msnm)	i	k	E (m)	B (m)	H (m)
0	578	468,170	467,639	0,00091841	0	0,25	2	1,5
578	1000	467,639	467,299	0,00080446	0	0,25	2	1,5
1000	1515	467,299	466,857	0,00085961	0	0,25	2	1,5
1515	1711	466,857	466,658	0,00101465	0	0,25	2	1,5

Fuente: Elaboración propia

El detalle del diseño hidráulico se presenta en el Anexo 7-8 y en el plano OBR-2.

7.6.2.3. Dimensionamiento de Bocatoma, Compuerta de Admisión y Descarga

La obra de admisión en si se compone de un desripiador, compuerta de descarga compuerta de admisión. El desriapiador es una obra que tiene la misión de retener y evacuar a través de las compuertas de descarga el sedimento grueso que pueda entrar hacia el canal esta obra tiene un largo de 13 m y un ancho de 6 m. Además se cuanta con una compuerta de admisión que tiene 3 compuertas de 1,20 m de ancho y 1,20 m de alto, dispuestas en un umbral de 1,0 m sobre el lecho del canalón de entrada. A la salida de las compuertas se proyecta un rápido de ingreso de sección rectangular de 5 m de ancho y pendiente de 5% que lleva el agua hasta una sección rectangular de 5 m de ancho y pendiente de 0,0016. En este tramo se ha dispuesto la instalación de una obra de aforo con barrera triangular en el rio y finalmente una transición recta con ajuste de anchos basales para empalmar a la sección del canal Matriz. El detalle del diseño hidráulico se presenta en el Anexo 7-9 y el detalle de la obra en los planos DET-1 y DET-2.

7.6.2.4. Dimensionamiento de las Descargas al Río Km 5,51

La obra corresponde a una descarga lateral con un fondo más bajo que el canal controlada por una caja de compuertas, para luego conectar con un rápido de descarga con una piscina disipadora, en este caso la caída por el cerro tiene doble pendiente por lo que se consideraron dos rápidos de descarga, el ultimo desemboca en un canal de descarga que llega al rio Aconcagua. En el Cuadro 7.6.2.4-1 se destacan las dimensiones principales.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago. Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.6.2.4-1
DIMENSIONES PRINCIPALES OBRA DE DESCARGA Km 5,51

PARTE 1	
Características de la Obra	Dimensiones
Caudal de Evacuación	6 m³/s
N° Compuertas	2
Sección de compuertas	0,9 m x 0,9 m
Ancho del Rápido N°1	3 m
Altura del Rápido N°1	1 m
Largo del Rápido N°1	20 m
Largo Piscina Disipadora N°1	10 m
Altura de la grada	0,5 m
PARTE 2	
Características de la Obra	Dimensiones
Ancho del Rápido N°2	3 m
Altura del Rápido N°2	1 m
Largo del Rápido N°2	25 m
Largo Piscina Disipadora N°2	10 m
Altura de la grada	0,7 m
Ancho del canal evacuador	3 m
Alto del canal evacuador	1 m
Talud k = H/V	0,5

Fuente: Elaboración propia

El detalle del diseño hidráulico se presenta en el Anexo 7-10 y el detalle de la obra en los planos DET-3 y DET-4.

7.6.2.5. Dimensionamiento de la Descarga al Río Km 8,97 - Reinoso

La obra corresponde a una descarga lateral con un fondo más bajo que el canal controlada por una caja de compuertas, para luego conectar con un rápido de descarga con una piscina disipadora desembocando en un canal de descarga que llega al río Aconcagua. En el Cuadro 7.6.2.5-1 se destacan las dimensiones principales.

El detalle del diseño hidráulico se presenta en el Anexo 7-11 y el detalle de la obra en el plano DET-5.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.6.2.5-1
DIMENSIONES PRINCIPALES OBRA DE DESCARGA Km 8,97

Características de la Obra	Dimensiones
Caudal de Evacuación	9,4 m³/s
Nº Compuertas	2
Sección de compuertas	1,2 m x 1,0 m
Ancho del Rápido	3 m
Altura del Rápido	1,3 m
Largo del Rápido	175 m
Largo Piscina Disipadora	10 m
Altura de la grada	0,2 m
Ancho del canal evacuador	4 m
Alto del canal evacuador	1,6 m
Talud k = H/V	0,5

Fuente: Elaboración propia

7.6.2.6. Dimensionamiento de la Entrega a Canales Abajo Catemu y Pepino Km 5,75

La obra corresponde a una descarga lateral con un fondo más bajo que el canal controlada por una caja de compuertas, para luego conectar con un rápido de descarga con una piscina disipadora desembocando en un canal de entrega que llega hasta la bocatoma de los canales Abajo Catemu y Pepino. En el Cuadro 7.6.2.6-1 se destacan las dimensiones principales.

CUADRO 7.6.2.6-1
DIMENSIONES PRINCIPALES OBRA DE DESCARGA Km 5,75

Características de la Obra	Dimensiones
Caudal de Evacuación	7,5 m³/s
Nº Compuertas	2
Sección de compuertas	1,2 m x 0,8 m
Ancho del Rápido	3 m
Altura del Rápido	1,0 m
Largo del Rápido	40 m
Largo Piscina Disipadora	10 m
Altura de la grada	0,75 m
Ancho del canal de entrega	2,5 m
Alto del canal de entrega	1,2 m
Talud k = H/V	0,5

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El detalle del diseño hidráulico se presenta en el Anexo 7-12 y el detalle de la obra en el plano DET-8.

7.6.2.7. Dimensionamiento de las Entregas a Riego

Se ha concebido una obra de entrega simple y económica, que básicamente no modifica la sección del canal. Esta consiste en una compuerta lateral, canal de sección rectangular de hormigón y obra de aforo, consistente en una barrera triangular, con regla. El cálculo hidráulico consiste básicamente en dimensionar la compuerta y canal de salida por una parte, y por otra, en dimensionar la barrera de aforo. La barrera de aforo debe cumplir con la condición típica de aguas abajo, es decir que el resalto al pie se encuentra rechazado, y por otra, que ahogue el resalto que se produce aguas abajo de la compuerta de acceso. En el Cuadro 7.6.2.7-1 se destacan las dimensiones principales, se opto por hacer una entrega tipificada tipo.

CUADRO 7.6.2.7-1
DIMENSIONES PRINCIPALES OBRA DE ENTREGA PREDIAL

Características de la Obra	Dimensiones
Caudal Máximo a Riego	0,2 m³/s
N° Compuertas	1
Sección de compuertas	0,5 m x 0,5 m
Altura de la grada	0,2 m
Ancho del canal de entrega	0,5 m
Alto del canal de entrega	0,5 m
Talud k = H/V	0,.5

Fuente: Elaboración propia

El detalle del diseño hidráulico se presenta en el Anexo 7-13 y el detalle de la obra en el plano OBR-4.

7.6.3. Prediseño de la Minicentral y Sus Obras Anexas

El prediseño se presenta en el Acápite 7.8.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.7. PREDISEÑO ESTRUCTURAL

7.7.1. Criterios de Diseño

7.7.1.1. Generalidades

El prediseño estructural de las obras se realizará de acuerdo a las condiciones de funcionamiento y acotamiento entregado por el cálculo hidráulico.

7.7.1.2. Campo de Aplicación

Estas especificaciones se aplicarán al diseño de las obras civiles: bocatomas, obras de distribución, puentes, canales y demás obras de arte.

7.7.1.3. Unidades

Las dimensiones de las estructuras se expresan en las unidades del sistema internacional o métrico.

Los refuerzos y las barras de anclaje se designarán en el sistema métrico, dando su diámetro nominal en milímetros.

7.7.1.4. Cálculos

Los cálculos ser realizan en el sistema métrico. Por la importancia y dimensiones de las estructuras son del tipo principal que requieren estanquidad. El diseño será por tensiones admisibles y se verificarán las tensiones en Fase I, salvo aquellas obras que no estén en contacto directo con agua.

7.7.1.5. Normas, Documentos de Referencia y Textos de Consulta

ACI 318 -95 "Código de diseño de hormigón armado"

ACI 318 -2005 "Código de diseño de hormigón armado",

Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad del MOP.

Estudio de mecánica de suelos

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Memoria de cálculo hidráulica

7.7.1.6. Materiales

Calidad de los materiales:

Hormigón armado H30 f'c= 250 kg/cm^2 con 95% de NC

Acero/hormigón A63-42H fy= 4.200 kg/cm^2

Pesos específicos:

Hormigón armado 2,5 t/m^3

Hormigón simple 2,4 t/m^3

Acero 7,85 t/m^3

Modulo de elasticidad:

Hormigón H30 235,000 kg/cm^2

Acero 2,100,000 kg/cm^2

7.7.1.7. Recubrimientos y Armaduras Mínimas

Los recubrimientos mínimos serán:

Para toda estructura en contacto con agua o tierra : 5,0 cm

Otras estructuras : 2,5 cm

La cuantía mínima a utilizar en los elementos de hormigón armado será de:

Cuantía geométrica armadura principal : $\rho = 0,15\%$

Cuantía geométrica armadura secundaria : $\rho = 0,10\%$

Donde $\rho = As/(bd)$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En general para el espaciamiento se usarán módulos de 10 para las separaciones de armaduras (10-20-30cm). Si fuese necesario, excepcionalmente se usará módulo 5.

7.7.1.8. Método de Cálculo Estructural

Las obras de hormigón armado en contacto con agua se diseñarán considerando limitación de tensiones en el hormigón y el acero para las estructuras en contacto con el agua. Esto con el objetivo de limitar el ancho de grietas en el hormigón. Para el diseño obras de arte se considera lo siguiente:

Para el diseño de muros, se considera empuje lateral de terreno activo (o estático, según corresponda) y empuje sísmico según el método de Mononobe Okabe. En obras en que pueda haber una diferencia de empuje de agua importante entre el interior y el exterior de la obra se incluirán en el cálculo presiones de empuje de agua.

El diseño de losa inferior se hará considerando las cargas que transmite la base de los muros a la losa apoyada en suelo elástico.

La losa superior diseñará con cargas verticales estáticas y momentos transmitidos por muros.

El diseño de compuertas de acero será considerando carga estática de agua para el caso de compuerta cerrada. Los elementos de acero seleccionados deberán tener al menos 2 mm extra de espesor para considerar la pérdida por corrosión.

7.7.1.9. Parámetros Geomecánicos del Suelo

En el diseño se utiliza los resultados obtenidos del estudio de mecánica de suelos y que se presentó en el Capítulo 3 de este estudio. Para determinar el empuje de tierra se utilizan las expresiones generales desarrolladas y coeficientes recomendados por el estudio de mecánica de suelos antes señalado.

Presiones del suelo inducidas por cargas externas: Las presiones verticales y horizontales inducidas por cargas externas se calculan de acuerdo a la relación de Boussinesq, válidas para un semiespacio elástico.

Interacción suelo-estructura: Para el análisis de la interacción suelo-estructura, en el caso de fundaciones o losas flexibles apoyadas directamente sobre el terreno se modela el suelo mediante resortes equivalentes (coeficientes de comprensión elástica) según la teoría de Winkler.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Obras de Suelo: Las obras de suelo como excavaciones, entibaciones, estabilidad de taludes, rellenos, drenajes, socalzados, etc. se especifican para cada proyecto en particular.

Factores de Seguridad: Los factores de seguridad empleados en las distintas situaciones se presentan en el Cuadro 7.7.1.9-1

CUADRO 7.7.1.9-1
FACTORES DE SEGURIDAD UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE ESTABILIDAD

Carga	Factores de Seguridad		
	Volcamiento	Deslizamiento	Flotación
Condicion Normal de Operación	roca 1,3	1,5	1,3
	arena Compacta 1,5		
Condicon Eventual de Operación	roca 1,2	1,2	1,1
	arena Compacta 1,3		

Fuente: Especificaciones Tecnicas par proyectos de Riego Depto. de Riego MOP -1960

En estructuras enterradas no se considerará la posibilidad de volcamiento o deslizamiento para cargas sísmicas. Las fundaciones deben mantenerse en compresión en toda su superficie de apoyo excepto frente a las solicitaciones sísmicas y durante la construcción o bajo la acción de cargas accidentales, en cuyo caso un mínimo de 85% del área de la fundación debe estar comprimida.

7.7.1.10. Cargas a Considerar para el Diseño de Canales y Obras de Arte

7.7.2. Cargas a considerar

En particular, se consideran las siguientes cargas que podrían afectar el diseño de canales y obras de arte:

a. Peso propio de la estructura (PP)
b. Cargas permanentes adicionales (CP)
c. Empujes de Suelo: Activo (Ea)
d. Empuje pasivo del Suelo (Ep)
e. Empuje en reposo del suelo (Eo)
f. Empuje napa freática (Enf)
g. Empuje fluido interno (Ews)
h. Cargas vivas adicionales (SC)
i. Empuje sísmico suelo (Es)
j. Esfuerzos sísmicos en la estructura (Ps)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.7.3. Combinaciones de Carga

Para el diseño de canales se considerará:

b.1.- Canal vacío con napa y sobrecarga
PP + Ea + Enf + Sc

Canal vacío con taludes napa freática y sobrecarga

b.2.- Canal vacio con rellenos con sismo (con reducción del 25%)
75% (PP + Ea + Es + Ps)

Canal vacío con taludes y sismo sin napa freática
Reducción por eventualidad del 25%

b.3.- Canal vacio con rellenos, napa y sismo (con reducción del 25%)

75% (PP + Ea + Enf + Es + Ps)

Canal vacío con taludes, napa freática, sismo y reducción por eventualidad de un 25%.

a. Coeficiente sísmico

El cálculo del coeficiente sísmico se determina según la norma Nch 433.Of96.

Las obras se clasifican dentro de la categoría C. Esto implica I=1.0 (coeficiente de importancia). Las condiciones de las obras hacen que no sea necesario considerar el sismo vertical. Para la carga sísmica de las obras, se usa el método estático, con el valor de Cmáx para R = 7 (hormigón armado)

$$C_{\max} = 0.35 \times S \times \frac{A_o}{g}$$ A_0 = 0,3g

$$K_h = I \times C_{\max}$$ $C_{máx}$ = 0,1365

K_h = 0,1365

Donde:

S = 1,3 (peor caso según norma)

I = 1,0 (coeficiente de importancia)

Se adoptó un coeficiente sísmico horizontal de 0,2, que corresponde a un valor típico usado para obras de este tipo.

7.7.4. Verificación de Estabilidad y Cuantías de Acero

7.7.4.1. Estabilidad de Compuertas de Descarga

Dada la geometría correspondiente a la obra y los antecedentes de cargas y solicitaciones tanto normales, eventuales y sísmicas; se estimo la estabilidad al volcamiento, deslizamiento y flotación de estas obras con el objetivo de verificar que los factores de seguridad sean mayores que 1.

Los resultados arrojan que para las dimensiones dadas en los planos de prediseño las obras son estables a la flotación, deslizamiento y volcamiento obteniendo factores de seguridad mayores a 1,1. El detalle del cálculo se presenta en Anexo 7-14.

7.7.4.2. Estimación de Cuantías de Acero

Los resultados del predimesionamiento de la sección arrojan que para los espesores dados en los planos de diseño para la bocatoma, compuertas de descarga y cámaras de inspección, dadas las cargas más desfavorables, las armaduras de acero son mínimas dadas por cuantías especificadas en el ACI-318.

Por lo tanto las cuantías mínimas de fierro para las obras de arte como compuertas, puentes y cámaras de inspección es de 50 kg/m³ y para la bocatoma por tener espesores mayores de muro se tienen cuantías mínimas de 100 kg/m³. El detalle del cálculo se presenta en Anexo 7-14.

7.8. Proyecto de Minicentral Hidroeléctrica

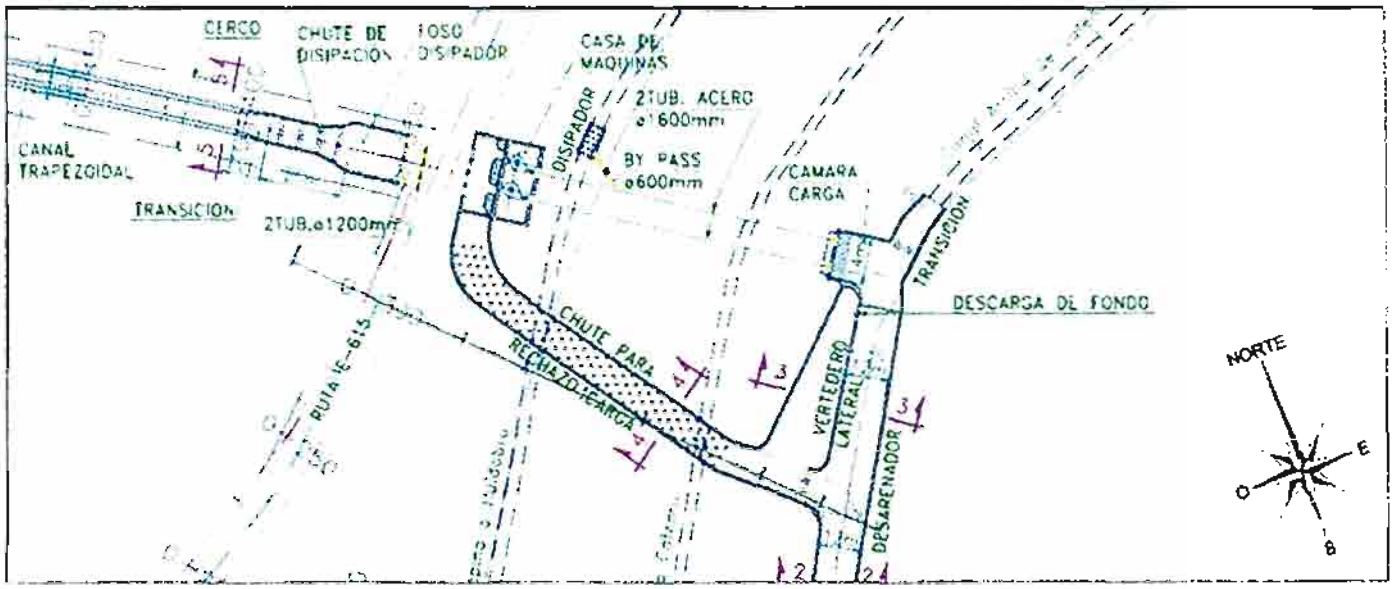
7.8.1. Descripción de la Solución Adoptada

El estudio de rentabilidad de las cuatro opciones de potencia, considerando también la inversión correspondiente en canal de conducción, arrojó que la más rentable en términos de potencia, generación de energía y rentabilidad es la que tiene la potencia mayor, es decir, la de 8,3 MW.

En la Figura 7.8.1-1 se presenta una imagen de planta de la MCH.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.8.1-1
IMAGEN PLANTA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA



Fuente: Elaboración propia

En lo que sigue se describen las obras que componen a la MCH:

- **Canal de Aducción:** La obra de toma de este proyecto se presenta en el Km. 16,05 del Canal Unificado, como una bocatoma de tipo lateral, y que posee un sumidero en la parte lateral, extrayendo solo el caudal de diseño para la MCH, igual a 13,8 m³/s.

- **Desarenador:** Luego de conducir las aguas por el canal de aducción, el agua disminuye su velocidad, producto de un ensanchamiento del canal en el desarenador, el que tiene por fin hacer decantar las partículas de arena, para posteriormente eliminarlas por la descarga de fondo.

- **Vertedero de Excedencia:** El vertedero de excedencia tiene por finalidad eliminar el excedente de caudal proveniente del canal de aducción, en los instantes de tiempo en que superen los 13,8 m³/s. El vertedero de excedencia entrega sus aguas al vertedero de rechazo de carga.

- **Vertedero de Rechazo de Carga:** El vertedero de rechazo de carga constituye una medida de protección, que permite el desvío de las aguas desde el inicio del canal desarenador hacia la cámara de descarga de las turbinas de forma directa, en caso de que se deba suspender el flujo de agua por la cámara de carga. En su entrada se diseñan dos compuertas, que en operación normal se mantendrán cerradas. En su recorrido posee dientes de hormigón armado que

disipan la energía del agua conforme baja por el vertedero para llegar de manera suave a la cámara de descarga.

- **Cámara de Carga:** Corresponde a la sección final del canal de desvío, justo antes de entrar a las tuberías de presión. Se diseña de manera que las tuberías se mantengan siempre a presión, y con una altura de carga suficiente que evite la formación de vórtices que introduzcan burbujas de aire en la tubería

- **Tuberías de Presión:** Desde la cámara de carga, el caudal es transportado hacia las turbinas a través de dos tuberías de presión en acero: una de de 1.800 mm de diámetro y la otra de 1.400 mm de diámetro. Las tuberías se proyectan sobre el terreno, ancladas mediante dados de hormigón armado, pasan el Canal Abajo de Catemu, por encima soportada mediante dados de anclaje para luego enterrarse metros antes del canal Pepino y para llegar a cada una de las turbinas. Desde una de las tuberías de presión se consulta una tubería de desvío hacia el Canal Abajo de Catemu, a través de una cámara con válvula de regulación, que permitirá desviar 1,84 m³/s, y otra para el Pepino, que permitirá desviar 1 m³/s. Todas las tuberías están proyectadas en diámetro, espesores y calidad de acero necesaria para soportar las presiones y minimizar las pérdidas de carga.

- **Casa de Máquinas:** La Casa de Máquinas, de estructura de hormigón armado en cuatro niveles, considera la instalación de dos turbinas Francis: Turbina A de 5,5 MW y Turbina B de 2,8 MW, con todo los equipamientos de generación, control y transformación. Se diseña con un puente grúa para el montaje y mantenimiento de los equipos electromecánicos.

- **Foso y Chute de Disipación:** Las aguas turbinas son conducidas desde la descarga hacia un foso y chute de disipación mediante cuatro tuberías de acero enterradas, que permiten pasar por debajo del camino público. El foso y el chute de disipación tienen por finalidad aquietar las aguas a la entrada del canal de descarga.

- **Canal de Restitución:** El canal de restitución es de sección trapezoidal de hormigón armado y conecta la salida del chute de disipación y con el Estero Catemu. Se proyecta con una longitud de 1,3 km. Este canal se diseña para una capacidad máxima de 13,8 m³/s, retornando el caudal total a su cauce, sin generar mayores efectos sobre el mismo.

En el Anexo 7-15 se presentan las memorias de cálculo hidráulicas de las obras principales que conforman al proyecto de la minicentral hidroeléctrica.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.8.2. Dimensionamiento, Selección y Optimización

7.8.2.1. Determinación de Caudales Turbinables

Una vez seleccionada la alternativa más rentable, para estimar la generación óptima se consideraron dos modificaciones al proyecto, que fueron:

I. Bajar la Casa de Máquinas para aprovechar una mayor altura de caída.

II. Entregar los derechos del Canal Pepino mediante una cámara y una válvula de regulación.

Al aumentar la altura de caída, disponiendo la Casa de Máquinas bajo el Canal Pepino, es posible obtener unos 2.000 MWh/año más de energía.

En el Cuadro 7.8.2.1-2 se presenta la estadística de caudales turbinables, obtenida del "Modelo de Simulación", contando con un caudal máximo turbinable de 12,9 m³/s.

CUADRO 7.8.2.1-2
CAUDALES DISPONIBLES PARA GENERACIÓN MCH CATEMU (m³/s)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	PROM
1950/51	3,43	5,18	4,02	3,27	4,63	3,76	3,52	6,71	9,34	4,84	0,95	2,09	4,31
1951/52	2,98	4,36	4,86	6,77	5,41	4,47	2,98	8,25	9,34	4,67	0,68	1,44	4,99
1952/53	2,70	4,79	5,48	4,94	4,82	5,59	4,41	10,25	9,34	6,46	3,97	3,05	5,48
1953/54	3,72	5,21	5,57	5,42	10,54	12,76	11,64	10,25	9,34	9,23	9,76	7,17	8,38
1954/55	5,14	5,42	5,87	4,72	5,20	5,18	3,31	10,25	9,34	9,18	2,40	2,35	5,70
1955/56	2,97	5,05	5,71	5,52	5,10	4,64	3,60	10,25	9,29	2,03	1,23	2,13	4,79
1956/57	2,66	4,89	3,83	4,05	4,77	4,03	3,02	3,25	0,37	0,35	0,40	1,55	2,77
1957/58	2,59	6,40	6,06	5,30	5,86	4,67	4,05	6,72	9,34	4,24	0,61	2,29	4,84
1958/59	2,87	4,29	6,93	5,05	4,39	4,16	7,22	6,11	3,14	0,27	0,58	1,94	3,91
1959/60	2,78	5,77	5,39	6,37	6,57	6,45	4,55	9,03	9,34	3,95	1,58	1,95	5,31
1960/61	2,37	3,42	6,16	4,35	4,72	4,32	4,84	10,25	9,34	5,29	1,76	4,29	5,09
1961/62	2,96	3,85	4,98	5,34	5,84	5,18	11,64	10,25	9,34	8,66	7,67	3,63	6,61
1962/63	3,45	4,33	5,29	5,31	5,32	4,55	5,98	10,25	9,34	3,85	1,62	2,43	5,14
1963/64	2,51	3,73	4,22	5,50	5,47	5,35	7,44	7,95	9,34	9,23	9,76	5,19	6,64
1964/65	4,53	4,96	4,87	3,92	3,83	3,07	1,43	0,43	0,06	0,12	0,31	1,47	2,42
1965/66	3,02	3,40	3,20	4,65	10,79	8,17	11,64	10,25	9,34	9,23	7,56	3,75	7,08
1966/67	3,92	4,50	5,34	5,50	5,25	5,26	5,07	10,13	9,34	5,96	2,99	2,14	5,45
1967/68	2,93	3,78	3,74	3,96	3,07	2,89	1,68	0,72	0,41	0,13	0,29	0,60	2,02
1968/69	1,67	2,72	2,82	2,74	2,80	1,99	0,84	0,21	0,00	0,04	0,12	0,26	1,35
1969/70	1,37	2,47	3,31	2,59	2,91	2,28	1,12	3,18	9,34	3,59	1,43	1,66	2,94
1970/71	2,13	3,81	3,46	4,47	3,93	3,34	3,15	7,79	5,67	0,58	0,57	0,96	3,32
1971/72	1,70	2,89	2,95	3,72	4,13	3,85	4,71	10,25	5,10	1,89	0,68	0,96	3,57
1972/73	1,83	5,42	10,15	7,98	10,33	11,84	10,61	10,25	9,34	9,23	9,76	10,95	8,97
1973/74	6,83	6,30	6,11	7,03	5,67	4,08	3,63	10,25	9,34	9,23	5,06	3,78	6,44
1974/75	3,78	4,72	6,49	7,13	6,09	5,08	8,67	10,25	9,34	9,23	4,66	3,11	6,55
1975/76	3,54	4,31	4,27	4,77	4,91	4,51	3,38	2,16	8,85	3,17	0,52	1,55	3,64
1976/77	2,62	3,48	3,82	3,35	3,48	3,02	2,03	10,25	9,34	4,85	0,65	2,15	4,09
1977/78	2,31	3,82	4,35	7,73	7,72	12,76	11,64	10,25	9,34	9,23	7,58	3,86	7,55
1978/79	3,83	4,72	4,64	10,02	7,77	6,52	11,49	10,25	9,34	9,23	9,76	5,21	7,73
1979/80	4,51	5,32	4,62	4,25	4,93	5,06	4,46	4,74	9,34	9,23	5,06	4,81	5,53
1980/81	10,31	7,81	7,74	7,83	7,82	7,35	8,22	10,25	9,34	9,23	9,76	5,71	8,45
1981/82	4,52	6,77	5,69	4,25	4,51	3,47	2,28	3,70	0,43	0,90	0,41	1,00	3,16

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.8.2.1-2
CAUDALES DISPONIBLES PARA GENERACIÓN MCH CATEMU (m³/s)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	PROM
1982/83	2,60	4,96	10,98	12,92	12,07	12,76	11,64	10,25	9,34	9,23	9,76	10,95	9,79
1983/84	7,21	6,44	6,18	7,20	7,13	6,09	11,64	10,25	9,34	9,23	8,85	3,89	7,79
1984/85	4,10	4,85	4,39	9,87	7,09	8,02	11,64	10,25	9,34	9,23	9,76	10,95	8,29
1985/86	6,01	6,35	5,65	5,80	5,02	3,53	2,70	10,25	9,34	5,43	2,59	2,81	5,46
1986/87	3,19	5,26	12,92	8,30	7,50	7,33	10,29	10,25	9,34	9,23	9,76	7,04	8,37
1987/88	4,45	5,29	6,59	12,92	12,92	11,23	11,64	10,25	9,34	9,23	9,76	9,99	9,47
1988/89	5,78	5,35	4,59	3,92	4,12	3,24	2,06	3,01	0,69	0,41	1,05	0,93	2,93
1989/90	1,84	3,51	2,93	3,33	5,62	6,65	9,02	10,25	9,34	2,70	0,75	1,26	4,77
1990/91	1,73	2,84	3,12	3,19	3,16	3,22	2,33	2,93	0,28	0,14	0,19	0,77	1,99
1991/92	1,78	4,35	6,26	9,59	6,86	9,86	9,08	10,25	9,34	9,23	8,81	4,84	7,52
1992/93	4,12	6,25	8,73	6,70	6,22	6,85	10,10	10,25	9,34	9,23	4,33	2,95	7,09
1993/94	4,32	12,20	10,02	5,99	5,37	5,07	4,86	8,15	9,34	5,58	0,81	1,72	6,12
1994/95	2,26	3,93	3,97	4,41	4,84	5,02	3,97	9,98	9,34	4,00	0,69	1,27	4,47
1995/96	2,10	3,83	4,08	4,16	3,84	4,43	2,19	6,71	3,42	0,23	0,37	1,14	3,04
1996/97	1,69	3,15	3,31	3,30	2,92	2,09	0,96	0,09	0,01	0,00	0,02	0,55	1,52
1997/98	1,56	3,33	12,92	8,99	10,80	12,76	10,63	10,25	9,34	9,23	9,76	5,57	8,76
1998/99	5,47	5,60	4,93	4,06	3,97	2,90	2,24	0,46	0,24	0,13	0,31	0,77	2,59
1999/00	1,68	3,14	3,50	3,48	4,27	6,79	8,16	10,25	8,34	2,25	0,60	1,22	4,47
2000/01	2,21	3,51	6,23	8,44	7,52	8,01	11,64	10,25	9,34	9,23	8,13	3,24	7,31
2001/02	3,34	4,61	4,18	5,37	6,64	6,60	10,97	10,25	9,34	9,23	3,68	1,87	6,34
2002/03	2,58	5,63	10,01	9,33	10,79	9,88	11,64	10,25	9,34	9,23	9,76	7,20	8,80
2003/04	4,27	5,81	6,03	5,73	5,06	4,62	6,16	10,25	8,90	5,43	1,12	1,50	5,41
2004/05	2,57	3,52	3,78	3,87	4,46	5,04	2,11	3,67	4,94	0,97	0,43	1,12	3,04
2005/06	1,80	3,72	10,55	6,68	9,81	12,02	11,64	10,25	9,34	9,23	9,76	3,28	8,17
Prom.:	3,3	4,7	5,7	5,8	6,0	6,0	6,3	7,9	7,4	5,5	4,0	3,3	5,5
Max	10,3	12,2	12,9	12,9	12,9	12,8	11,6	10,3	9,3	9,2	9,8	10,9	9,8
Mín.:	1,4	2,5	2,8	2,6	2,8	2,0	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	1,4

Fuente: Elaboración propia

7.8.2.2. Generación Hidroeléctrica

Para maximizar la generación se determinó la potencia obtenible en un escenario con turbina única y en otro con dos unidades, ambas de tipo Francis; este análisis se hizo sobre la base de que las turbinas Francis generan a partir de aproximadamente un 20% de Q/Qnominal. En los Cuadros 7.8.2.2-2 y 7.8.2.2-3 se presenta la generación en dichos escenarios (con una diferencia entre ambos de 6.216 MWh/año), lo que amerita en el proyecto a diseño final se opte por un esquema de instalación escalonada. La energía anual generada con el esquema de dos turbinas escalonadas es de 28.213 MWh/año y el Factor de Planta 38,6 %.

En las Figuras 7.8.2.2-1 y 7.8.2.2-2 se seleccionan turbinas comerciales con potencias nominales son garantizables. En el Cuadro 7.8.2.2-2 se presenta la generación con una unidad y en el Cuadro 7.8.2.2-3 se determina con dos unidades, para estimar la generación máxima posible de obtener con turbinas escalonadas de potencia diferente (2/3 y 1/3 de la capacidad), que debiera solicitarse al proveedor como configuración a suministrar en la etapa de proyecto de Ingeniería Básica y de Detalle.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Finalmente, se considera que para efectos de cálculos de rentabilidad, se pueden considerar los siguientes valores de parámetros para el proyecto de obras civiles y equipamiento electromecánico.

CUADRO 7.8.2.2-1
RESUMEN DE PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS MCH CATEMU PARA EL CÁLCULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON UNA POTENCIA INSTALADA TOTAL DE 8,3 MW

Parámetro característico	Unidad	Valor
Cota de canal salida	m	498,3
Cota de entrega salida	m	421,3
Diámetro de tubería turbina	mm	1.600
Longitud tuberías	m	122
Caudal nominal turbinas	m³/s	12,9
Altura bruta disponible	m	77
Altura neta de operación	m	73,5

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en los Cuadros 7.8.2.2-2 y 7.8.2.2-3, la energía generada es un 28% mayor al considerar dos unidades (2/3 y 1/3 de la capacidad), que al utilizar solo una unidad, por lo que, para efectos de diseño a nivel de prefactibilidad, la configuración a utilizar corresponde a dos turbinas Francis de 5,5 y 2,8 MW (2/3 y 1/3 de la potencia total).

En el Anexo 7-16 se presenta la planilla de generación hidroeléctrica, de donde se sacaron los resultados presentados en los Cuadros 7.8.2.2-2 y 7.8.2.2-3.

CUADRO 7.8.2.2-2
GENERACIÓN CON UNA (1) UNIDAD FRANCIS:
P_{INST}: 8,3 MW

Qmax. : 12,9 m³/s			Hn: 73,5 m		e: 91%	P_{max}: 8,30 MW	
Qi	Qi+1	Qm	Q/Qmax.	Ef.Rel.	E (%)	P (MW)	E (MWh)
13,8	14,1	14,0	100	98	89,18	8,29	0,00
13,5	13,8	13,7	105,8	99	89,64	8,82	0,00
13,2	13,5	13,4	103,5	99	90,09	8,67	0,00
12,9	13,2	13,1	101,2	99	90,09	8,48	994,53
12,6	12,9	12,8	98,8	100	91,00	8,37	0,00
12,3	12,6	12,5	96,5	100	91,00	8,17	106,49
12,0	12,3	12,2	94,2	100	91,00	7,97	207,84
11,7	12,0	11,9	91,9	100	91,00	7,78	1216,27
11,4	11,7	11,6	89,5	100	91,00	7,58	98,79
11,1	11,4	11,3	87,2	99	90,09	7,31	285,79
10,8	11,1	11,0	84,9	99	89,64	7,08	553,52
10,5	10,8	10,7	82,6	98	89,18	6,85	357,08
10,2	10,5	10,4	80,2	97	88,27	6,59	3263,07
9,9	10,2	10,1	77,9	96	87,36	6,33	1732,95
9,6	9,9	9,7	75,6	94	85,54	6,01	78,39

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.8.2.2-2
GENERACIÓN CON UNA (1) UNIDAD FRANCIS:
P_{INST}: 8,3 MW

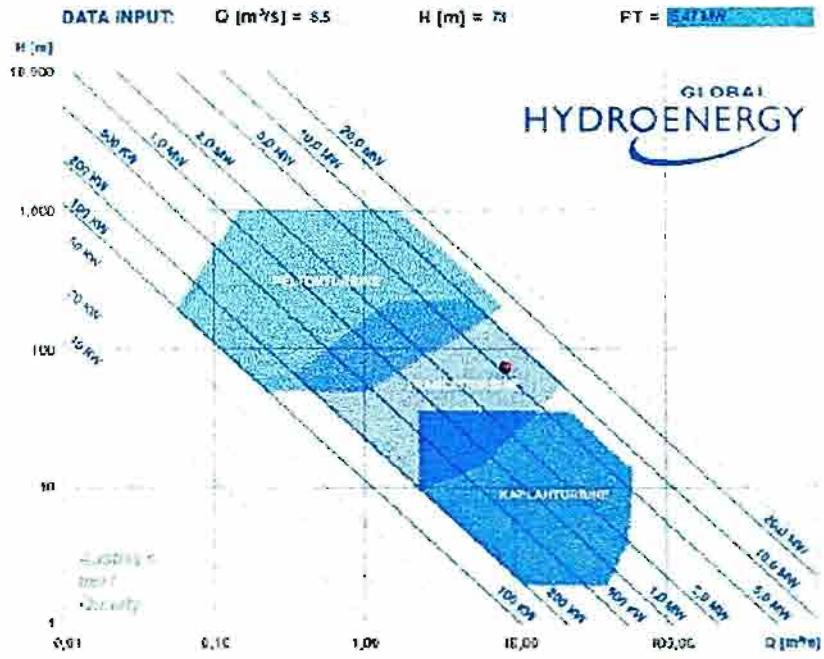
Qmax. : 12,9 m³/s			Hn: 73,5 m		e: 91%	P_{max}: 8,30 MW	
Qi	Qi+1	Qm	Q/Qmax.	Ef.Rel.	E (%)	P (MW)	E (MWh)
9,3	9,6	9,4	73,3	93	84,18	5,74	4785,02
9,0	9,3	9,1	70,9	90	81,90	5,40	493,05
8,7	9,0	8,8	68,6	89	80,99	5,17	269,48
8,4	8,7	8,5	66,3	87	79,17	4,88	190,87
8,1	8,4	8,2	64,0	85	77,35	4,60	539,82
7,8	8,1	7,9	61,6	85	76,90	4,41	574,58
7,5	7,8	7,6	59,3	83	75,08	4,14	323,89
7,2	7,5	7,3	57,0	80	72,80	3,86	452,64
6,9	7,2	7,0	54,7	78	70,98	3,61	423,31
6,6	6,9	6,7	52,3	77	69,62	3,39	618,33
6,3	6,6	6,4	50,0	73	66,43	3,09	483,27
6,0	6,3	6,1	47,7	70	63,70	2,82	441,86
5,7	6,0	5,8	45,3	68	61,43	2,59	641,71
5,4	5,7	5,5	43,0	64	58,24	2,33	850,67
5,1	5,4	5,2	40,7	62	56,42	2,14	696,02
4,8	5,1	4,9	38,4	56	50,96	1,82	711,28
4,5	4,8	4,6	36,0	54	49,14	1,65	601,36
4,2	4,5	4,3	33,7	50	0,50	0,02	5,52
3,9	4,2	4,1	31,4	0,0	0,00	0,00	0,00
3,6	3,9	3,8	29,1	0,0	0,00	0,00	0,00
3,3	3,6	3,5	26,7	0,0	0,00	0,00	0,00
3,0	3,3	3,2	24,4	0,0	0,00	0,00	0,00
2,7	3,0	2,9	22,1	0,0	0,00	0,00	0,00
2,4	2,7	2,6	19,8	0,0	0,00	0,00	0,00
2,1	2,4	2,3	17,4	0,0	0,00	0,00	0,00
1,8	2,1	2,0	15,1	0,0	0,00	0,00	0,00
1,5	1,8	1,7	12,8	0,0	0,00	0,00	0,00
1,2	1,5	1,4	10,5	0,0	0,00	0,00	0,00
0,9	1,2	1,1	8,1	0,0	0,00	0,00	0,00
0,6	0,9	0,8	5,8	0,0	0,00	0,00	0,00
0,2	0,6	0,4	3,1	0,0	0,00	0,00	0,00
0,0	0,2	0,1	0,8	0,0	0,00	0,00	0,00
					Energía Anual: 21.997,4 [MWh/año]		
					Factor de Planta: 29,7%		

Fuente: Elaboración propia

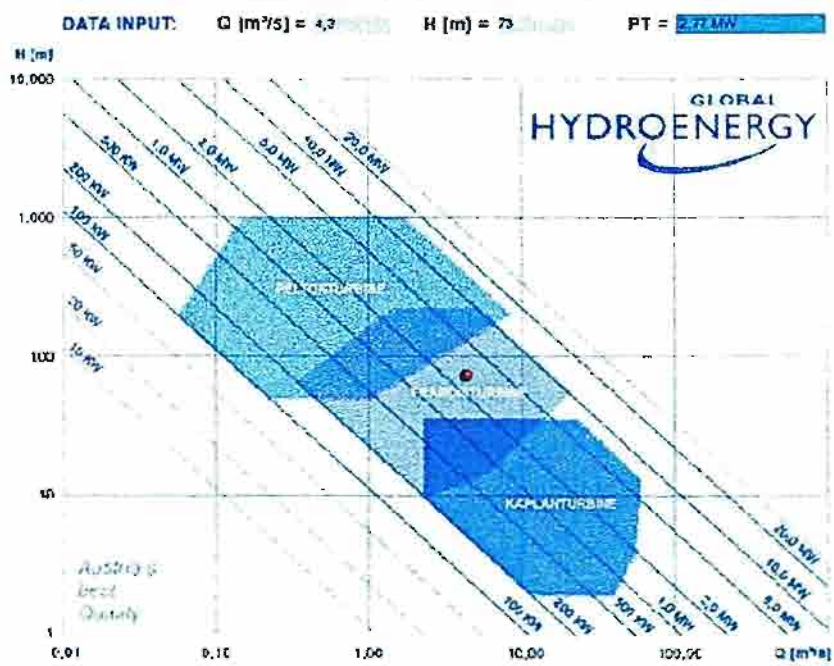
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.8.2.2-1
SELECCIÓN DE TURBINAS FRANCIS

Turbina A: P_{INST}: 5,5 MW



Turbina B: P_{INST}: 2,8 MW



Fuente: http://www.hydro-energy.com/es/info-center/turbinen-kalkulator/

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.8.2.2-3
GENERACIÓN CON DOS (2) UNIDADES FRANCIS; P_{INST}: 8,3 MW

Qmax. A : 8,7 m³/s							Hn: 73,5 m		P_A: 5,5 MW		$P_{máx.}$: 8,3 MW	
Qmax. B : 4,3 m³/s							e: 91%		P_B: 2,8 MW			
Qi	Qi+1	Qm	Q op A	Q op B	Q/Q_{max} A %	Q/Q_{max} B %	Eff A %	Eff B %	Pot. A	Pot. B	P_{Tot} (MW)	E_{ant} (MWh)
13,8	14,1	14,0	8,67	4,33	100,0	100,0	98,8	1,0	5,5	2,7	8,2	0,0
13,5	13,8	13,6	9,10	4,55	105,0	105,0	92,7	0,9	5,4	2,7	8,1	0,0
13,2	13,8	13,3	8,90	4,45	102,7	102,7	96,0	1,0	5,5	2,7	8,2	0,0
12,9	13,2	13,0	8,70	4,35	100,4	100,4	98,5	1,0	5,5	2,7	8,2	964,4
12,6	12,9	12,7	8,50	4,25	98,1	98,1	100,2	1,0	5,4	2,7	8,2	0,0
12,3	12,6	12,4	8,30	4,15	95,8	95,8	101,3	1,0	5,4	2,7	8,1	105,2
12	12,3	12,1	8,10	4,05	93,5	93,5	101,9	1,0	5,3	2,6	7,9	206,6
11,7	12,0	11,8	7,90	3,95	91,2	91,2	102,1	1,0	5,2	2,6	7,7	1.210,4
11,4	11,7	11,5	7,70	3,85	88,8	88,8	101,8	1,0	5,0	2,5	7,5	98,1
11,1	11,4	11,2	7,50	3,75	86,5	86,5	101,3	1,0	4,9	2,4	7,3	285,1
10,8	11,1	10,9	7,30	3,65	84,2	84,2	100,5	1,0	4,7	2,3	7,0	550,6
10,5	10,8	10,6	7,10	3,55	81,9	81,9	99,5	1,0	4,5	2,3	6,8	353,4
10,2	10,5	10,3	6,90	3,45	79,6	79,6	98,3	1,0	4,3	2,2	6,5	3.225,1
9,9	10,2	10,0	6,70	3,35	77,3	77,3	97,1	1,0	4,2	2,1	6,2	1.708,2
9,6	9,9	9,7	6,50	3,25	75,0	75,0	95,7	1,0	4,0	2,0	6,0	77,8
9,3	9,6	9,4	6,30	3,15	72,7	72,7	94,3	0,9	3,8	1,9	5,7	4.755,3
9	9,3	9,1	6,10	3,05	70,4	70,4	92,8	0,9	3,6	1,8	5,4	495,8
8,7	9,0	8,8	5,90	2,95	68,1	68,1	91,3	0,9	3,4	1,7	5,2	269,6
8,4	8,7	8,5	5,70	2,85	65,8	65,8	89,8	0,9	3,3	1,6	4,9	192,1
8,1	8,4	8,2	5,50	2,75	63,5	63,5	88,3	0,9	3,1	1,6	4,7	546,5
7,8	8,1	7,9	5,30	2,65	61,2	61,2	86,7	0,9	2,9	1,5	4,4	574,7
7,5	7,8	7,6	5,10	2,55	58,8	58,8	85,0	0,9	2,8	1,4	4,2	325,5
7,2	7,5	7,3	4,90	2,45	56,5	56,5	83,3	0,8	2,6	1,3	3,9	459,5
6,9	7,2	7,0	4,70	2,35	54,2	54,2	81,5	0,8	2,4	1,2	3,7	431,0
6,6	6,9	6,7	4,50	2,25	51,9	51,9	79,5	0,8	2,3	1,1	3,4	626,3
6,3	6,6	6,4	4,30	2,15	49,6	49,6	77,3	0,8	2,1	1,1	3,2	498,9
6	6,3	6,1	4,10	2,05	47,3	47,3	74,9	0,7	2,0	1,0	2,9	460,7
5,7	6,0	5,8	3,90	1,95	45,0	45,0	72,1	0,7	1,8	0,9	2,7	668,5
5,4	5,7	5,5	3,70	1,85	42,7	42,7	69,0	0,7	1,6	0,8	2,5	894,4
5,1	5,4	5,2	3,50	1,75	40,4	40,4	65,5	0,7	1,5	0,7	2,2	716,6
4,8	5,1	4,9	3,30	1,65	38,1	38,1	61,4	0,6	1,3	0,6	1,9	760,4
4,5	4,8	4,6	0,00	4,65	0,0	100,0	0,0	1,0	0,0	2,9	2,9	1.072,8
4,2	4,5	4,3	0,00	4,35	0,0	100,4	0,0	1,0	0,0	2,7	2,7	964,4
3,9	4,2	4,0	0,00	4,05	0,0	93,5	0,0	1,0	0,0	2,6	2,6	1.136,0
3,6	3,9	3,7	0,00	3,75	0,0	86,5	0,0	1,0	0,0	2,4	2,4	823,5
3,3	3,6	3,4	0,00	3,45	0,0	79,6	0,0	1,0	0,0	2,2	2,2	763,8
3	3,3	3,1	0,00	3,15	0,0	72,7	0,0	0,9	0,0	1,9	1,9	693,5
2,7	3,0	2,8	0,00	2,85	0,0	65,8	0,0	0,9	0,0	1,6	1,6	384,2
2,4	2,7	2,5	0,00	2,55	0,0	58,8	0,0	0,9	0,0	1,4	1,4	235,1
2,1	2,4	2,2	0,00	2,25	0,0	51,9	0,0	0,8	0,0	1,1	1,1	253,5
1,8	2,1	1,9	0,00	1,95	0,0	45,0	0,0	0,7	0,0	0,9	0,9	187,6
1,5	1,8	1,6	0,00	1,65	0,0	38,1	0,0	0,6	0,0	0,6	0,6	92,9
1,2	1,5	1,3	0,00	1,35	0,0	31,2	0,0	0,5	0,0	0,4	0,4	45,8
0,9	1,2	1,0	0,00	1,05	0,0	24,2	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	21,7
0,6	0,9	0,7	0,00	0,06	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,2	0,6	0,4	0,00	0,03	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0	0,2	0,1	0,00	0,10	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
								Energía Anual: 28.135,7 MWh/año				
								Factor de Planta: 38,6%				

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.8.3. Especificaciones Técnicas Equipamiento

Los equipos electromecánicos comprenden:

- Dos grupos Francis turbina-generador de eje vertical.
- Válvulas principales.
- Sistema de control de caudal y regulación de potencia.
- Sistema de refrigeración y drenaje de aguas.
- Puente grúa.
- Transformadores.
- Mallas de tierra.
- Tableros eléctricos de control, de fuerza y de transformadores.
- Equipos de Control.
- Sistema de telecomunicaciones, captura y transmisión de datos (SCADA).

7.8.3.1. Especificaciones Técnicas Generales

a) ***Alcance de Entregas***

El alcance de las entregas correspondientes a los equipos electromecánicos deberá incluir:

- Suministro de los equipos electromecánicos.
- Suministro de planos para la cimentación y el diseño de la posición de las tuberías de presión en la Casa de Máquinas.
- Coordinar y dirigir la cimentación para la maquinaria "Commissioning".
- Montaje de equipos electromecánicos.
- Instalación eléctrica en la Casa de Máquinas.
- Puesta en servicio y pruebas de la central.
- Capacitación al personal de operación.
- Manuales de M, O & M.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

b) *Alcance de Precios*

En los precios de la oferta de equipos se deberán incluir todos los gastos necesarios de materiales y mano de obra requeridos hasta el montaje y pruebas finales y la entrega de planos "según construcción" *("as built")*.

c) *Pruebas de Funcionamiento*

Los equipos electromecánicos se pondrán en funcionamiento, solamente después de haber realizado todas las pruebas requeridas.

La MCH se pondrá en funcionamiento y monitoreará durante un periodo mínimo de un mes, periodo en el que se entregará energía a la red de distribución y se verificará el perfecto funcionamiento tanto de la central como de la red eléctrica de distribución, en condiciones óptimas para la demanda y consumo de energía.

7.8.3.2. Especificaciones Técnicas Especiales

a) *Aspectos Generales*

Todos los equipos electromecánicos serán de la mejor calidad y de diseños que incluyan las técnicas de manufactura de última generación y aseguramiento de la calidad. Los equipos deberán ser diseñados y construidos para trabajar bajo las siguientes condiciones de servicio:

- Instalación: Interior Casa de Máquinas
- Altitud máxima: 1.000 m s.n.m.
- Temperatura operación: Máx. 40°C; Mín. -10°C
- Humedad relativa: Max. 90%; Mín. 30%
- Condiciones sísmicas: 0,5 g horizontal; 0,3 g vertical; 0,1 ciclos/s

b) *Normas de Fabricación*

Los equipos deberán cumplir con las normas de las siguientes instituciones:

- Instituto Chileno de Normalización (Nch)
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)
- Comisión Eléctrica Internacional (CEI)
- British Standard (BS)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- American Society of Testing Materials (ASTM)
- American Welding Society (AWS)
- Standard Steel Painting Council (SSPC)
- International Standard Organization (ISO)
- Especificaciones para fundición de aceros para máquinas hidráulicas (CCH-70-2).

c) ***Grupos Hidroeléctricos***

La turbina deberá ser diseñada y fabricada de tal manera que cumpla los parámetros nominales de caudal, altura y rendimiento ofertados por el fabricante y, cor el generador correspondiente. Los equipos de la MCH deberán ser nuevos y de primera calidad. Contarán con certificación de manera de asegurar una vida útil de por lo menos 25 años.

Funcionamiento del grupo hidroeléctrico

- Arranque: Manual: Parada: manual desde el tablero eléctrico y automática por falla, con botón de parada de emergencia.
- Control de velocidad: Automático mediante regulador de velocidad y manual para casos de emergencia.
- Variación de velocidad: Desde tablero eléctrico y/o directamente en el regulador de velocidad.
- Control de tensión: Automático mediante regulador electrónico de tensión (AVR) con distribución automática de potencia reactiva para operación en paralelo.

Protección de los grupos

El sistema de protección del grupo se basará en la operación con tres niveles de falla: 1°) Fallas que puedan ocasionar daño irreparable; 2°) Fallas que afecten un componente importante pero sin daño irreparable; 3°) Fallas que pueden ocasionar daños a los equipos alimentados por la MCH. Como parte del sistema de emergencia de la MCH se dispondrá de un sistema para evitar el embalamiento ante fallas.

d) ***Turbinas***

Turbinas Francis de eje vertical, cuyas principales características de diseño se presentan en el Cuadro 7.3.2.4-1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.c

CUADRO 7.8.3.2-1
RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPAMIENTO ELECTROMECÁNICO

Parámetro	Unidad	Unidad 1	Unidad 2
Altura neta de diseño:	m	73,5	73,5
Caudal de diseño:	m³/s	8,7	4,3
Potencia en bornes:	MW	5,5	2,8
Velocidad nominal:	rpm	1.000	1.000
Velocidad de embalamiento:	rpm	1.700	1.700
Altitud máx. de operación:	m s.nm	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 7.8.3.2-2
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS PRINCIPALES DE LAS TURBINAS

Carcasa	Acero SAE 1020 o St 37, con patas, cáncamos de izaje y brida para acople de válvula de mariposa.
Rotor Francis	Acero inoxidable Cr-Ni o AISI 316, soldado y refrentado, con balanceo estático y dinámico.
Corona de álabes directrices	Acero inoxidable AISI 316 operada con mecanismo de barras y servomotor hidráulico.
Acoplamiento entre rotor y eje	De preferencia directo a eje de alternador con acople de asiento cónico y chaveta.
Empaquetaduras	Todas de tipo aro-sello ("O-ring") para estanqueidad total y fácil montaje.
Protección anticorrosiva carcasa y bastidor	Esquema epóxico con imprimante y esmalte final.

Fuente: Elaboración propia

e) ***Alternador***

Cada alternador será de eje vertical, de tipo síncrono, autoexcitado con excitación estática, sin escobillas, con puentes rectificadores rotativos, trifásico, diseñado para operación con turbina hidráulica de eje vertical, eléctrica y mecánicamente para resistir las solicitaciones provocadas por la velocidad de embalamiento de la turbina por un tiempo determinado; con regulador automático de tensión (AVR), incluido. En los Cuadros 7.8.3.2-3 y 7.8.3.2-4 se presentan las características del alternador.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.8.3.2-3
CARACTERÍSTICAS DE ALTERNADOR

Parámetro	Unidad	Valor
Potencia aparente nominal	MVA	6,9
Potencia activa nominal:	MW	5,5
Velocidad nominal:	rpm	1.000
Factor de potencia:	-	0,8
Tensión de generación:	kV	2,3
Regulación de tensión:	%	10
Frecuencia:	Hz	50
Aislamiento clase:	-	F
Protección:	-	IP 23
Velocidad de embalamiento:	rpm	1.700
Altitud de operación:	m s.n.m.	1.000

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 7.8.3.2-4
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS PRINCIPALES DEL ALTERNADOR

Tipo	Sincrónico, de eje vertical, sin escobillas, autorregulado, auto excitado, con rectificadores de estado sólido rotativos, apto para operación con carga desequilibrada de 30%.
Construcción	Especial para soportar velocidades de giro en forma desde el estado de reposo hasta la velocidad de embalamiento, sin que sucedan fallas.
Sobrecargas	Capacidad para soportar hasta el doble de la corriente nominal durante 20 segundos y corto circuito entre bornes durante 3 segundos.
Aislamiento de las bobinas	Tropicalizado y resistente al ataque de termitas.
Nivel de Interferencias	Según Norma BS 5000.
Dispositivos Electromecánicos	Aptos para soportar sobre-tensiones normales en una central hidroeléctrica rural.

Fuente: Elaboración propia

El generador será trifásico, para acople a la turbina mediante cojinetes calculacos para soportar las cargas axiales verticales y las radiales. La conexión de los bobinados del generador deberá ser en estrella con neutro accesible con el neutro del generador conectado a tierra directamente o a través de una impedancia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.c

f) *Volante Inercial*

El volante inercial será de acero SAE 1020 o St 37 y tendrá un momento de inercia que permita cumplir, como mínimo, con lo siguiente: sobre-velocidad máxima, 50%; sobre-presión máxima en la tubería forzada, 30%.

g) *Válvula Principal*

Será del tipo mariposa. Deberá consultarse una válvula tipo globo para "by-pass", de accionamiento manual, para facilitar la apertura manual. Se consultará una junta de expansión para instalar entre la válvula y la turbina. La apertura hidráulica de la válvula se hará con cilindro hidráulico accionado desde la fuente de poder hidráulica del regulador de velocidad.

h) *Regulador de Carga para Turbina*

Para el funcionamiento de la central, el sistema de regulación debe operar según los requerimientos de la red eléctrica. Considerando las condiciones de funcionamiento de la MCH, tipo central de pasada, la disponibilidad de agua en el Canal Catemu Alto y la desviación de la mayor parte del caudal del río desde la bocatoma hacia la turbina para luego devolver al río, el sistema de regulación será por control de caudal según la potencia de carga instantánea demandada por la red.

i) *Regulador de Velocidad* ("Governor")

El regulador de velocidad será de marca de reconocida calidad, con las siguientes características de operación:

- Tipo: actuador mecánico-hidráulico
- Variación de velocidad: 0 - 10%, regulable, precisión < 5%
- Accionamiento: eléctrico, motor 1.500 RPM
- Dispositivo de seguridad: solenoide para el cierre de los álabes directrices
- Salidas monitoreo: digital, de velocidad, temperatura y vibración.

El regulador contará con actuador/amplificador y fuente de poder hidráulico para el accionamiento. Para el accionamiento manual se consultará una bomba hidráulica para operar la turbina en caso de falla del regulador. Se consultará, además, un acumulador de presión de aceite hidráulico, como elemento de seguridad en casos de falla de la presión de aceite. Las características del regulador de carga se presentan en el Cuadro 7.3.2.9-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.8.3.2-5
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL REGULADOR

Sistema de regulación	Regulador electro hidráulico, con cilindro hidráulico actuador sobre la corona de álabes directrices de la turbina Francis.
Tiempo de reacción	0,5 s (máximo)
Variación de frecuencia	+/- 2,5 % de 0 a 100 % de carga
Regulador *("Governor")*	Woodward, o equivalente
Repuestos	Según recomendación de fabricante.

Fuente: Elaboración propia

El fabricante podrá ofrecer otro tipo de regulador *("Governor")*, que cumpla con los términos arriba indicados como especificaciones mínimas, pudiendo ser electrónico.

Es importante que el Fabricante verifique la compatibilidad de la operación estable del regulador con el material, módulo de elasticidad, longitud y diámetro de la tubería de presión de acero proyectada. Debe estar, por tanto, en conocimiento cabal del proyecto de generación hidroeléctrica y de los planos de Obras Civiles y Especificaciones Técnicas de Obras Civiles de la Ingeniería Básica.

j) *Tableros de Control y Mando Eléctrico*

El fabricante deberá suministrar los tableros eléctricos de fuerza, medición y control, metálicos, protegidos contra la corrosión con esquema epóxico, aplicado según especificación del SSPC-SP5, con puertas abisagradas de cierre hermético, sellado con burlete y con sus correspondientes picaportes; serán accesible por la parte inferior para el correspondiente cableado a efectuar en terreno. Serán completamente cableados en fábrica y deberá cumplir normas NEMA o IEC.

El tablero deberá contener las barras trifásicas de cobre, para la corriente de operación, tensión nominal 2.300 V y 380/220 V, 50 Hz, además de la barra del neutro, que será conectada a tierra. Será cableado completamente en fábrica. Las canalizaciones internas serán conducidas por el interior de canaletas plásticas hasta las regletas terminales correspondientes a las conexiones externas.

Se consultarán indicadores luminosos para señalar las posiciones de los dispositivos de control y monitoreo. Las fallas se señalizarán asimismo mediante indicadores luminosos.

El tablero contará con un panel para alojar los siguientes dispositivos e instrumentos, para las funciones específicas indicadas:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Medición

Con instrumento de medición integral digital, para las siguientes mediciones:

- Corriente (1 por fase)
- Tensión (1 por fase)
- Frecuencia
- Medición potencia activa
- Medición potencia reactiva
- Medición de demanda máxima
- Medición energía activa
- Medición de factor de potencia

Control

Las funciones de control se realizarán mediante los siguientes dispositivos:

- Reóstato para el ajuste de tensión del alternador
- Botoneras (2) para arrancar la fuente de poder hidráulico y el regulador de velocidad.
- Regulador electrónico de tensión (AVR), con caída de tensión de + 1% entre vacío y plena carga.

Protección

La protección se efectuará por medio de relés de protección para las siguientes funciones:

- Tensión mínima;
- Intensidad máxima;
- Sub-frecuencia;
- Sobre-frecuencia;
- Sobre-temperatura de cojinetes.

Transformadores y Seccionamiento

Se consultarán transformadores de corriente necesarios para medición y relés. Cada grupo hidroeléctrico tendrá un interruptor principal tripolar de protección.

ARRAU Ingenieria E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Servicios Auxiliares

Se proveerán los equipos de servicios auxiliares como: banco de baterías, cargador estático de baterías, interruptores, etc.

k) ***Repuestos y Herramientas***

El fabricante de los grupos hidroeléctricos suministrará un juego completo de herramientas para el montaje y mantenimiento.

l) ***Aseguramiento de la Calidad y Garantía***

El fabricante del grupo hidroeléctrico deberá contar con un Programa de Aseguramiento de la Calidad basado en la norma ISO 9000-2000 y otorgar una Póliza de Garantía por la maquinaria y equipos complementarios.

El fabricante deberá entregar el Manual de Operación y Mantenimiento de los equipos y la documentación completa de los accesorios. Deberá, además, proponer lista repuestos para un periodo de operación no menor de dos años.

7.8.3.3. Trámites y Permisos Administrativos y Ambientales

Las centrales hidráulicas productoras de energía eléctrica, utilizan la energía potencial y cinética proveniente de la masa de agua que fluye en un cauce, que posee un cierto desnivel, y la convierte en energía eléctrica. Al hacer pasar el agua por una turbina hidráulica, la turbina gira, transmitiendo energía mecánica a un generador que la transforma en energía eléctrica.

Las centrales hidroeléctricas menores a 20 MW se clasifican en:

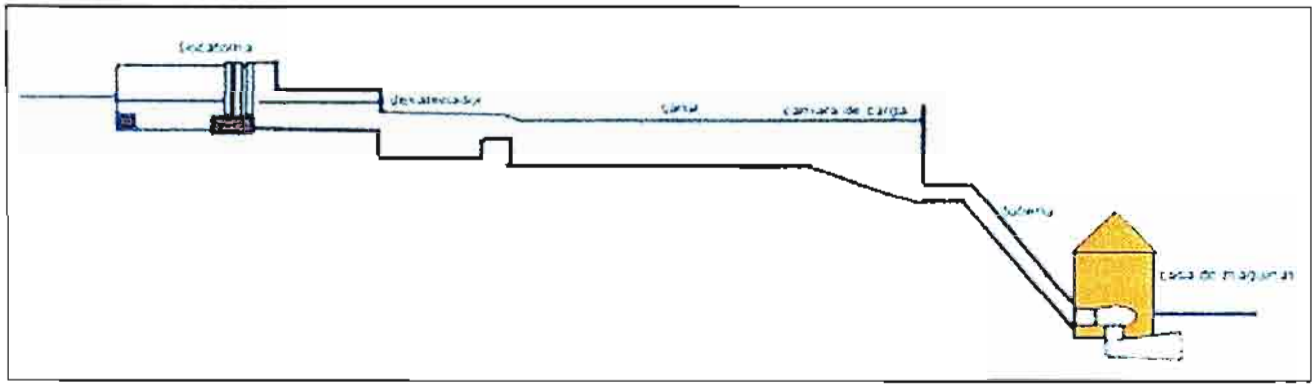
- Centrales en canales de riego
- Centrales a pie de embalse de riego
- Centrales de pasada con puntos de captación y restitución en cauces naturales

Al momento de construir la central hidroeléctrica es necesaria la instalación de cierros provisorios para delimitar las áreas de trabajo con las señalizaciones de seguridad, con el objetivo de resguardar al personal que trabaje en ellas. Posteriormente, se realiza el despeje de las áreas comprometidas al emplazamiento de las partes y obras del proyecto y se procede a su construcción. En este caso, la obra comprende la captación/bocatoma o toma de agua, el sistema de aducción y conducción, el desarenador, la cámara de carga, la

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

obras de seguridad tales como vertedero y rápido de descarga, la tubería de presión, la casa de máquinas y finalmente las obras de restitución o entrega del agua.

FIGURA 7.8.3.3-1
DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE OBRA EN CANAL DE RIEGO



Fuente: Elaboración propia

Una vez finalizada la construcción de la casa de máquinas, se instalan los equipos y maquinarias: puente grúa, equipos electromecánicos y equipos auxiliares. A un costado de la casa de máquinas, se encuentra el patio de alta tensión, donde se emplazan los transformadores MT/AT. Luego se hacen las pruebas de puesta en marcha y posteriormente se desarrolla el plan de operación de la central.

7.8.4. Conexión Eléctrica

7.8.4.1. Generalidades

La MCH se ha proyectado para alimentar la red de distribución del sector, la que se encuentra en su punto más cercano a 85 m y corresponde a las instalaciones de la empresa distribuidora local CHILQUINTA.

Se consultará la provisión del transformador de subida de tensión para alimentar la red de transmisión desde la Casa de Máquinas hasta la interconexión con la red de media tensión de la empresa CHILQUINTA y el mejoramiento de la línea de CHILQUINTA para cumplir con la calidad de suministro y la reglamentación vigente.

En el Anexo 7-16 "Procedimientos de Conexión Eléctrica" se describen los procedimientos para la conexión a redes de distribución y los procedimientos para la conexión a sistema de transmisión.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

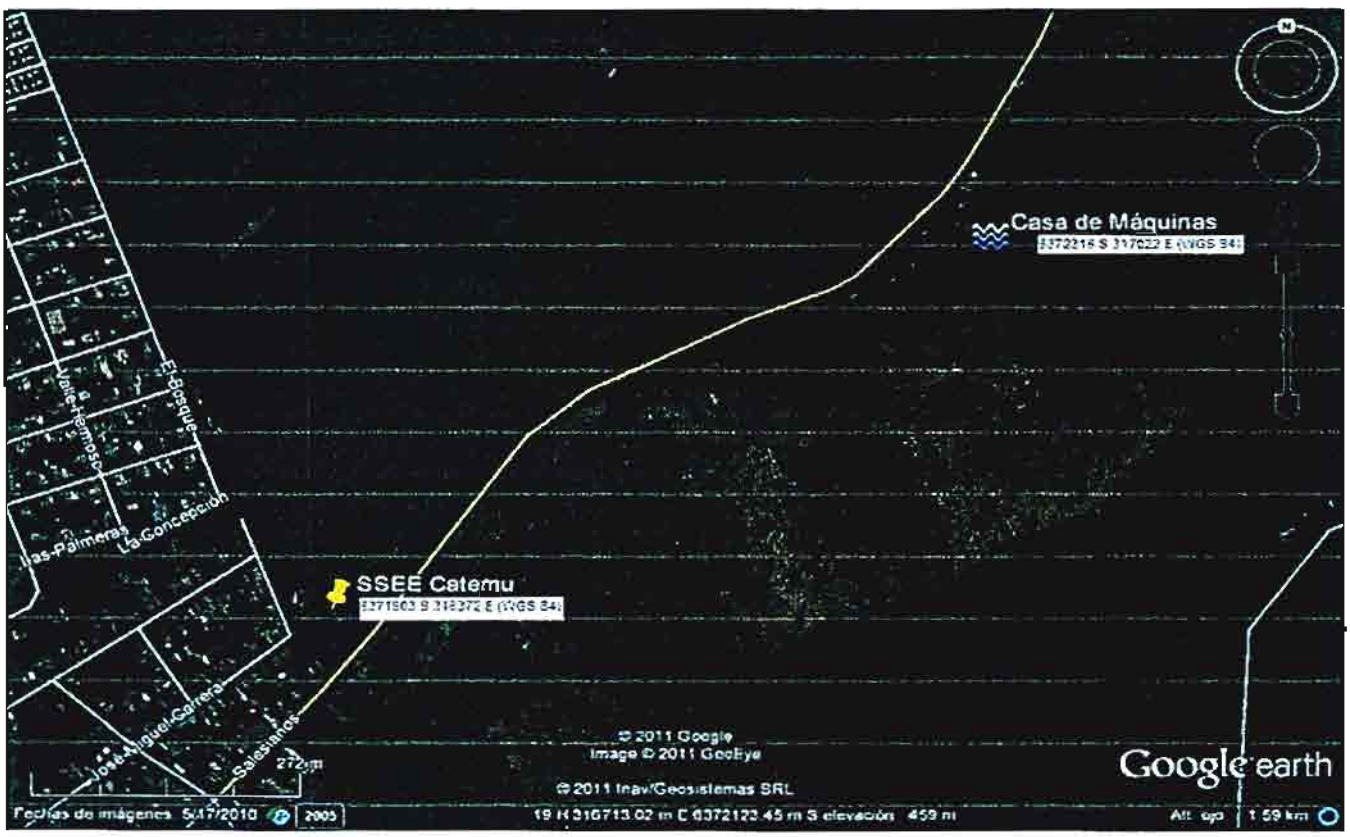
7.8.4.2. Proyecto de Interconexión Eléctrica

a) *Antecedentes Generales*

El planteamiento de diseño eléctrico propuesto es construir una Subestación (SE) de subida en el patio de alta tensión de la central, una línea de media tensión para llegar a un punto del sistema de distribución de la empresa de aproximadamente 100 m, que es la única empresa distribuidora con instalaciones eléctricas en la zona donde se ubica el proyecto.

En la Figura 7.8.4.2-1 se puede ver la zona del proyecto donde se observa la cercanía de la ubicación de la Casa de Máquinas de la MCH con la Subestación Catemu y una línea de MT de la empresa CHILQUINTA que va paralela en la franja fiscal de la Avenida Salesianos.

FIGURA 7.8.4.2-1
UBICACIÓN CASA DE MÁQUINAS Y SUBESTACIÓN CATEMU, CHILQUINTA



Tal como se indicó en el párrafo anterior, paralela al camino (Av. Salesianos) que se encuentra marcado en la Figura 7.8.4.2-1 existe una red de MT trifásica de la empresa CHILQUINTA, cuyo alimentador nace en la Subestación Catemu (Figura 7.8.4.2-2).

La línea ocupa la franja fiscal del camino que va de Catemu a la localidad de Cerrillos, tiene un voltaje nominal de 12 kV y sus puntos más cercanos a la Casa de Máquinas están a menos de 100 m.

FIGURA 7.8.4.2-2
SUBESTACIÓN CATEMU, CHILQUINTA

La Subestación Catemu, de Chilquinta, es una Subestación Primaria de Subtransmisión donde se hacen retiros de energía eléctrica en 12 kV, tanto para clientes regulados, como libres, es decir, no hay inyección de energía eléctrica. Se abastece a través del SIC a través de una línea AT de 44 kV que nace en la Subestación Chagres, como se puede ver en el diagrama unilineal de la Figura 7.8.4.2-4.

Las demandas proyectadas para el alimentador Catemu, señaladas en Estudio Subtransmisión SIC 2010 – 2013, CNE, son las indicadas en el Cuadro 7.8.4.2-1. Además de

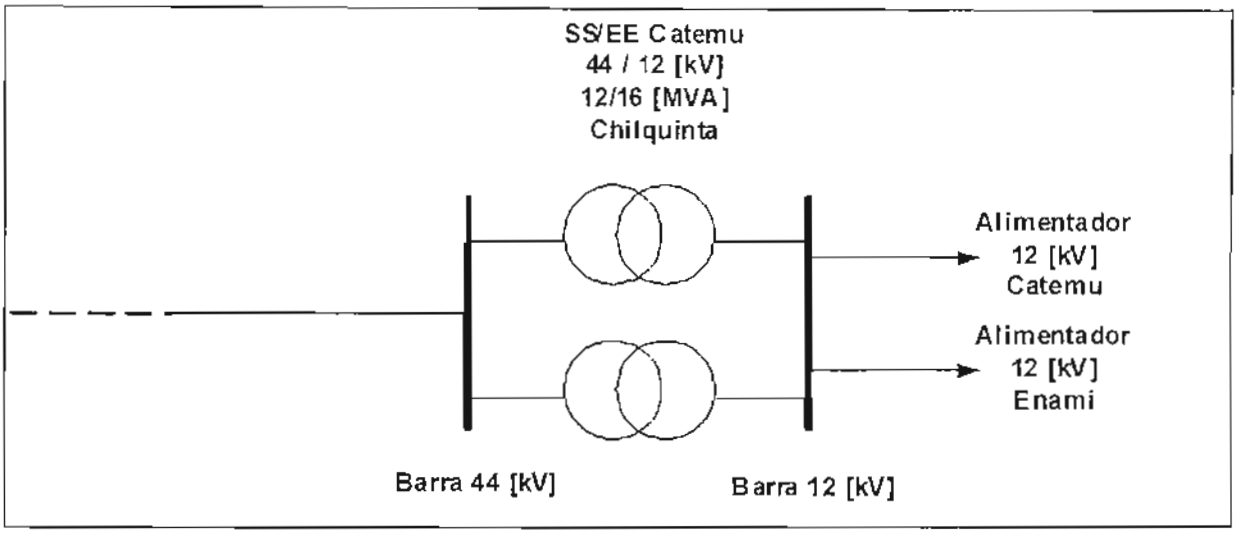
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

las demandas y consumos anteriores, que son del alimentador Catemu, hay que considerar el alimentador ENAMI.

FIGURA 7.8.4.2-3
ALIMENTADOR SUBESTACIÓN CATEMU LÍNEA MT
CHILQUINTA CATEMU - CERRILLOS

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.8.4.2-4
UNILINEAL SSEE CATEMU



Fuente: Estudio Subtransmisión SIC 2010 – 2013, CNE

CUADRO 7.8.4.2-1
PROYECCIONES CONSUMO Y DEMANDAS ALIMENTADOR CATEMU

Catemu 012 SIC2	2010	2011	2012	2013		Nota
Consumo de Energía	42,75	44,156	45,75	47,79	GWh	
% Crecimiento anual		3,30%	3,60%	4,40%	3,80%	Promedio
Demanda Máxima	5,33	5,5	5,67	5,95	MW	
% Crecimiento anual		3,30%	3,10%	4,90%	3,70%	Promedio

Fuente: Estudio Subtransmisión SIC 2010 – 2013, CNE

La Subestación Catemu duplicó su capacidad instalada el año 2007 al reemplazar su transformador por uno de 16 MVA, debido al aumento de la demanda de energía eléctrica del sector, principalmente asociado a las empresas mineras y agrícolas. Para verificar los consumos, se solicitaron, mediante el documento denominado Formulario Nº1 PMGD, a la empresa Chilquinta, entre otros antecedentes, las demandas eléctricas, tanto para el Alimentador Catemu, como en la barra de 12 kV de la SE Catemu, respondiendo mediante el denominado Formulario Nº2 PMGD, cuyos principales antecedentes se presentan en el Cuadro 7.8.4.2-2. Ambos formularios se presentan en el Anexo 7-16.

Del gráfico de la Figura 7.8.4.2-5 se puede observar que la demanda promedio está cercana a los 7 MW. Por otra parte, del gráfico de la Figura 7.8.4.2-6 se puede observar que en diciembre, final del año, la demanda promedio del alimentador está cercana a los 4 MW.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

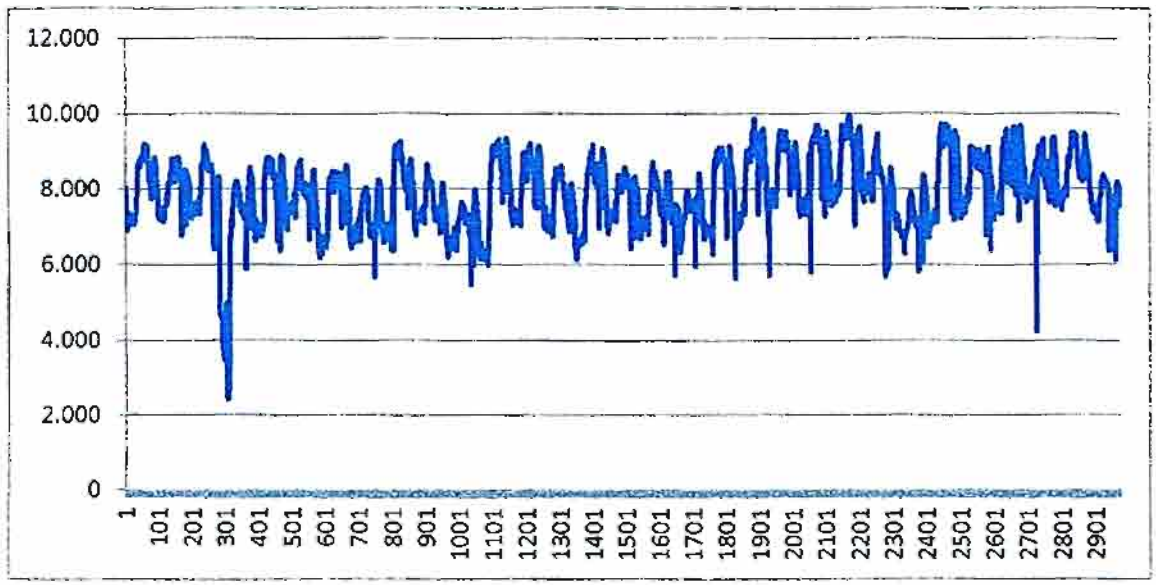
CUADRO 7.8.4.2-2
DEMANDAS 2011 ALIMENTADOR CATEMU Y BARRA 12 kV SE CATEMU

Demanda 2011	Alimentador Catemu kW	Barra SSEE Catemu 12 kV kW
Promedio	2.804	6.615
Mínima	959	1.254
Máxima	5.027	9.975

Fuente: Chilquinta

De lo anterior, se puede concluir que la central podría inyectar toda la energía generada al alimentador, ya que existen demandas suficientes para consumirlas, a lo más en la barra de 12 kV en la SSEE Catemu. No obstante lo anterior, es posible que en algunos horarios, en las hora de baja carga, se inyecte energía a los sistemas de distribución.

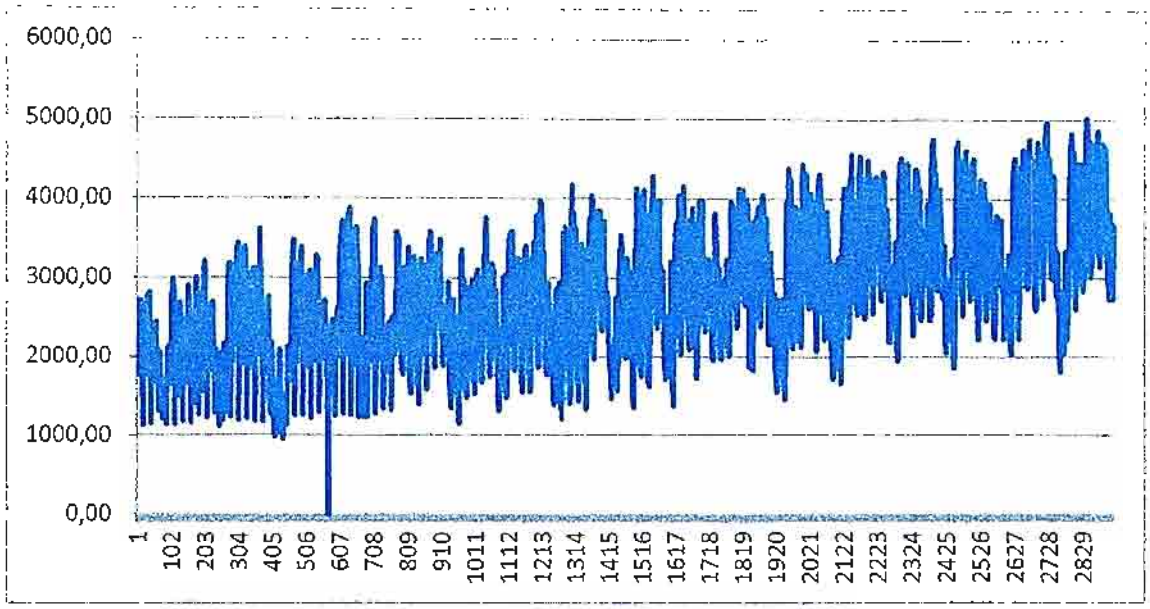
FIGURA 7.8.4.2-5
DEMANDA EN kW BARRA 12 kV SE CATEMU, DICIEMBRE 2011



Fuente: Chilquinta

De acuerdo a los análisis, el PMGD CATEMU proyectado de 8,3 MW de capacidad instalada, tendría a la fecha el espacio para poder inyectar la energía eléctrica generada a esta subestación.

FIGURA 7.8.4.2-6
DEMANDA EN kW ALIMENTADOR CATEMU 12 kV, AÑO 2011



Fuente: Chilquinta

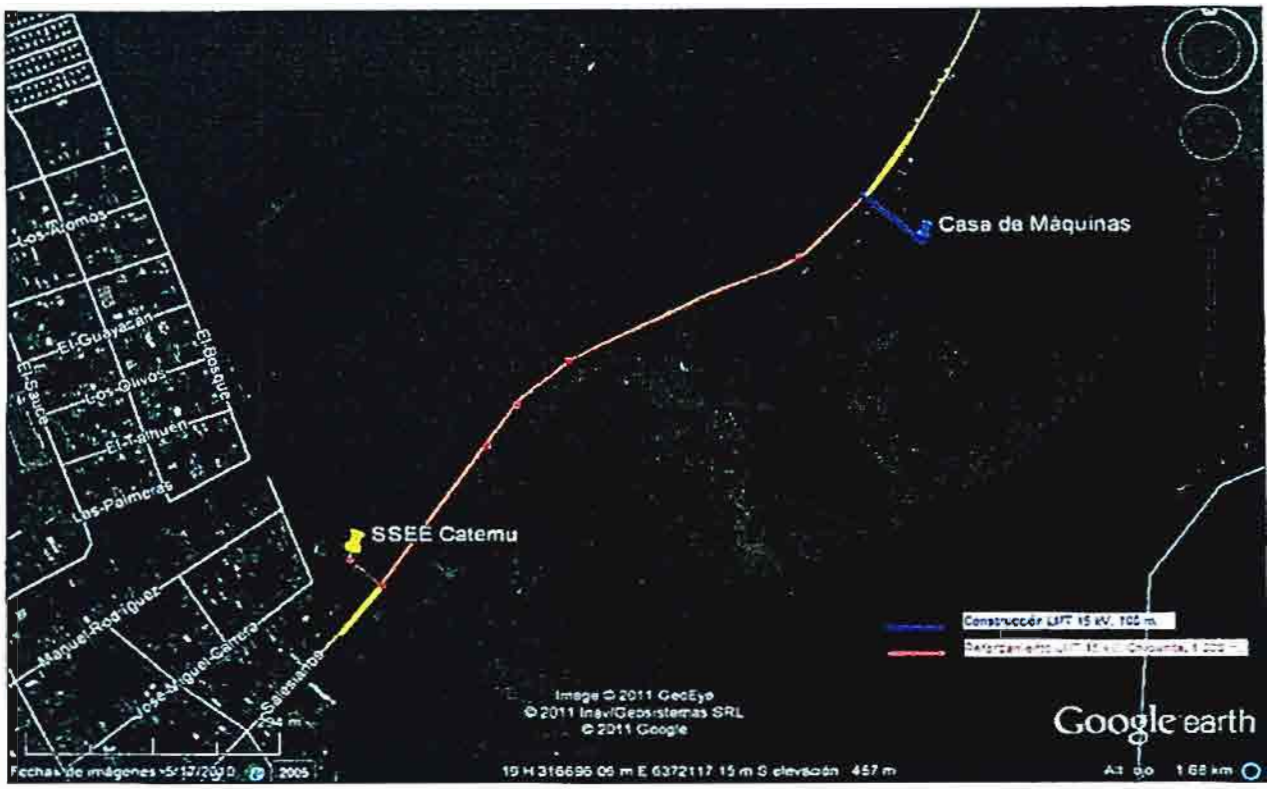
Una vez realizada la Ingeniería Básica de la MCH Catemu, se debe desarrollar el Informe Consolidado de Conexión a la Red que comprende los siguientes estudios:

- Estudio de Coordinación y Ajuste de Protecciones
- Estudios Estáticos y de Impactos
- Estudios de Cortocircuito
- Estudio de Impacto Dinámico

En base al estudio anterior, se determina la capacidad disponible al momento que efectivamente se proyecte implementar la central y el balance entre el ahorro e incremento de las pérdidas con y sin la incorporación del PMGD en función del aumento de la demanda proyectada. En forma preliminar se muestra en la Figura 7.8.4.2-7 el trazado de la interconexión (color azul) con la línea eléctrica (color rojo).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.8.4.2-57
DIAGRAMA PRELIMINAR TRAZADO LÍNEA ELÉCTRICA INTERCONEXIÓN

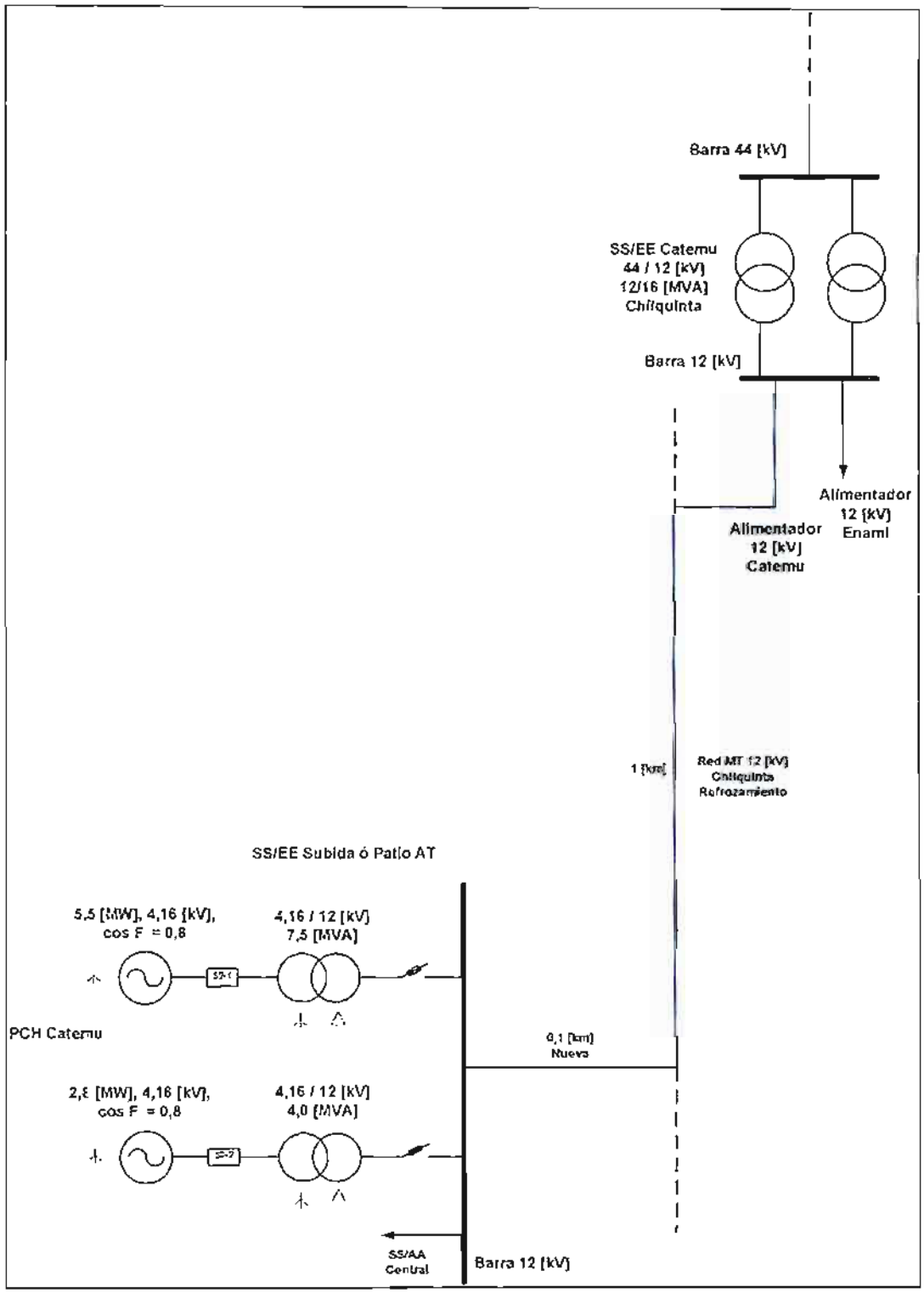


b) *Diseño Eléctrico: 8,3 MW*

La central tendrá una capacidad máxima de 8,3 MW, y estaría compuesta por dos grupos hidrogeneradores, uno de 5,5 MW y otro de 2,8 MW. La energía eléctrica generada por cada grupo hidroeléctrico será transmitida desde la central mediante una línea trifásica en media tensión - con un nivel de voltaje de 12 kV - a una distancia aproximada de 100 m desde la casa de máquinas, específicamente del patio de alta tensión, hasta el punto de empalme con la red de media tensión remodelada para tal efecto, donde se instalará un equipo de protección y medida.

Para transmitir la energía en 12 kV es necesario construir un patio de alta tensión al lado de la Casa de Máquinas, en el cual se dispondrá un transformador trifásico a la intemperie, por cada grupo hidrogenerador, con relación de transformación de 4,16/12 kV. En la Figura 7.8.4.2-8 se puede ver un diagrama unilineal de la solución planteada.

FIGURA 7.8.4.2-8
DIAGRAMA UNILINEAL INTERCONEXIÓN



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander C231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

c) *Características del Equipamiento y Obras*

c.1) Casa de Máquinas

En la casa de máquinas, desde el punto de vista eléctrico, se dispondrán:

- 2 Turbinas Francis: A con una potencia de 5,5 MW y B con 2,8 MW.
- 2 Tableros de control de generadores
- 2 Tableros de control de turbinas
- 2 Celdas de excitación
- 2 Cargadores de baterías
- Sistema de *"switchgear"* de AT (el que deberá incorporar las funciones de protección, control y medición)

Todos los elementos de protección y control deberán ser incorporados en armarios diseñados para este fin. En la Casa de Máquinas se instalará un tablero para servicios generales, tales como iluminación, enchufes de servicio o fuerza, extractores de aire, etc. Además, se recomienda instalar un grupo electrógeno como respaldo de una potencia de 110 kVA.

c.2) Patio de Alta Tensión o SE Elevadora

La SE elevadora es la instalación en la cual se lleva a cabo la elevación de la tensión desde el nivel entregado por el generador, hasta el nivel utilizado para la transmisión. Esta SE cumplirá la función de conectar la central generadora con el sistema de distribución del sector, específicamente con las líneas de media tensión trifásicas en 12 kV.

La SE está compuesta por las siguientes instalaciones:

- Fundaciones de estructuras.
- Estructuras metálicas y/o postes.
- Equipos eléctricos.

i. Fundaciones de Estructuras

Las fundaciones tienen por finalidad dar apoyo y transferir al suelo los esfuerzos mecánicos y peso de las estructuras y equipos. Estas son confeccionadas con hormigón armado y sus dimensiones varían dependiendo del equipo y/o estructuras. Se debe hacer una fundación para el transformador ya que va montado sobre la superficie.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

ii. Estructuras Metálicas o Postes

Las estructuras metálicas y/o postes del patio tienen por función recibir las líneas eléctricas y cables correspondientes a las barras del patio. Asimismo, existen estructuras metálicas y/o postes de apoyo de equipos eléctricos necesarios para la operación de la SE. Todas las estructuras y/o postes son construidas formando pilares y/o vigas reticuladas apernadas a una base de perfiles de acero galvanizado.

iii. Equipos Eléctricos

Los equipos eléctricos tienen por finalidad maniobrar la energía que llega hasta la SE para derivarla y distribuirla a distintas zonas a través de líneas eléctricas. El transformador de poder tiene como principal característica el modificar el voltaje recibido. La SE eléctrica de la central está diseñada inicialmente para dos transformadores de poder, trifásicos, 3 enrollados: 4,16/12 kV, A de 7,5 MVA y B de 4,0 MVA que llevarán el voltaje desde 4,16 kV a 12 kV, siendo este último, el nivel de voltaje utilizado para la transmisión de energía en la zona.

En el Cuadro 7.8.4.2-3 se presentan, los principales equipos que deberán ser instalados en el patio de AT ó MT y obras eléctricas de interconexión, así como sus características principales.

CUADRO 7.8.4.2-3
CARACTERÍSTICAS DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS PRINCIPALES CM Y SE

Elemento	Cant.	Descripción
Interruptor 4,16 kV	2	Interruptor Tripolar Clase 5 kV
Seccionador 4,16 kV	6	Seccionador Tripolar Clase 5 kV
Transformador de SSAA	1	Transformador de Serv. Aux., 3Φ, 100 kVA, 12/0,4 kV
Transformador de Poder	1	Trifásico, 3 enrollados, 4,16/12 kV, 7,5 MVA
Transformador de Poder	1	Trifásico, 3 enrollados, 4,16/12 kV, 4,0 MVA
Transformador de potencial 12 kV	3	Monofásicos, 5 kV, Tipo Inductivo
Desconectador Fusible 12 kV	1	Tripolar, 15 kV
Desconectador 12 kV	2	Tripolar, motorizado, uno con puesta a tierra y uno sin puesta a tierra
Transformador de corriente 12 kV	3	Monofásicos, 5 kV
Pararrayos 12 kV	3	Monofásicos de Óxido de Zinc, 15 kV
Grupo electrógeno 110 kVA	1	Trifásico Diesel, 0,38 kV, 50 Hz, 110 kVA

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El diseño de la planta de generación permite la construcción de una SE sin la necesidad de un patio de 4,16 kV, ya que la energía en este nivel de tensión llegará a través de un cableado subterráneo proveniente del *switchgear* de salida, instalado en la nave central de la Casa de Máquinas.

No obstante, a la entrada de la SE se instalará un interruptor trifásico, como dispositivo de protección y maniobra del generador.

En la SE se han considerado distintos mecanismos de seguridad, tales como:

- **Protección eléctrica**

La SE contará con una malla de tierra contenida íntegramente al interior de su cierro perimetral estándar, materializada por un enmallado de cables metálicos enterrado a una profundidad mínima de 60 cm. Todos los equipos y estructuras estarán conectados a dicha malla.

- **Protección de Ingreso de Personas No Autorizadas**

La SE poseerá un primer cierro correspondiente a un cerco de límite predial exterior. A continuación, se utilizará un segundo cierro mediante rejas, tabiques o muralas, con el fin de evitar la intromisión de personas extrañas a las instalaciones y equipos. Todo acceso, se mantendrá cerrado con llave.

- **Letreros**

También se considera la instalación de letreros de advertencia en los cierros perimetrales de la SE, informando y a la vez previniendo de lo riesgoso que resulta el ingreso de personal no autorizado al interior del predio. La SE contempla la presencia de personal de modo sólo eventual y no permanente. Normalmente, la SE estará cerrada, sin personas en su interior, siendo operada y supervisada desde la sala de control, ubicada en el interior de la Casa de Máquinas.

c.3) Línea de Transmisión

Para la conexión de la central generadora con las líneas eléctricas existentes en el sector, se contempla la construcción de una línea de transmisión de 12 kV, que poseerá una extensión de 100 m. Además, se realizará el reforzamiento de la red de Chilquinta en aproximadamente 1 km hasta llegar a la SE Catemu.

Como se trata de un circuito simple trifásico, por este circuito se considerará que pasa toda la energía generada por la central, es decir, la corriente nominal será:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$In = \left(\frac{\text{Potencia Total en kVA}}{\text{Voltaje de Línea en kV x } \sqrt{3}}\right)$$

Considerando un factor de potencia de 0,8 (cosφ) y 4,16 kV en lado de los bornes del generador y 12 kV en MT, entonces se tienen los siguientes valores:

CUADRO 7.8.4.2-4
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA MCH

Potencia Activa MW	Potencia Aparente MVA	Corriente Nominal bornes generador A	Corriente Nominal Media Tensión A
8,3	10,4	1.443	500

Fuente: Elaboración propia

Para determinar las características del alimentador de la MCH a la red de Chilquinta, 1.100 m hasta la SE Catemu, se debe conocer la corriente máxima que circulará por el circuito, el tipo de canalización, tipo de aislación, temperatura de servicio, capacidad máxima del conductor, la caída de voltaje y las protecciones que se utilizarán.

El conductor seleccionado se debe calcular según los parámetros, capacidad de transmisión, caída de tensión y capacidad de cortocircuito, como se presenta a continuación.

- **Capacidad de corto circuito**

La capacidad de transmisión de los conductores no debe superar la temperatura de trabajo bajo cualquier condición de funcionamiento. Esta capacidad se determina considerando que la temperatura no supere 50°C en cualquier ubicación.

En el presente caso, por las potencias a transmitir, se ha seleccionado un conductor de aluminio tipo AAAC "Canton" para líneas aéreas de 199,85 mm2 de sección, con una capacidad térmica (75°) de 570 A.

- **Caída de tensión**

La caída de tensión se determina aplicando las condiciones extremas de operación del sistema, la cual no deberá ser mayor que 6% en el extremo más alejado del circuito.

Para el cálculo de la caída de tensión se tiene:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$V_p = \sqrt{3} \times In \times L \times (R \times \cos\varphi + X \times sen\varphi)$$

Donde:

In: Intensidad nominal.

L : Largo.

R: Resistencia del conductor.

X: Reactancia del conductor.

cosφ: Factor de potencia.

No obstante los valores obtenidos, no deben superar el Vp permitido según norma SEC (6%). De acuerdo a lo anterior, se contempla el uso de conductor de aluminio tipo AAAC "Canton" de 199,85 mm2, 12 kV para la red de MT 3ø aérea, según se muestra en el Cuadro 7.8.4.2-5.

CUADRO 7.8.4.2-5
CARACTERÍSTICA CONDUCTOR ELEGIDO (AAAC CANTON)

Característica	Unidad	Valor
Calibre MCM ó AWG	MCM o AWG	394,5
Diámetro Total	mm	18,3
Capacidad Térmica (75ºC)	Ampere	570
RCA (50 Hz) 50°C	Ohm/km)	0,1855
Reactancias (50 Hz) a 1 m de separación - Xa reactancia Serie - Xa' reactancia Paralelo	 Ohm/km Ohm/km	 0,3124 0,2686
RMG	mm	6,639
Cantidad de Hebras	Nº	19
Peso	kg/km	551
Capacidad de Ruptura	kg	6030
Módulo de Elasticidad Final	kg/mm^2	6350
Coeficiente de Dilatación Lineal	1/ºC	2,30E-05
Sección	mm^2	199,85

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en el cuadro anterior, con este conductor se tienen capacidades de transporte de corriente sobre los 570 A por fase.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Considerando las corrientes a transmitir, las características del conductor y las distancias consideradas (1,1 km), se tienen las siguientes caídas de voltaje y pérdidas, para distintos valores de generación:

CUADRO 7.8.4.2-6
CAÍDAS DE VOLTAJE Y PÉRDIDAS CONDUCTOR ELEGIDO (AAAC CANTON)

Potencia Central kW	Corriente Nominal MT A	Voltaje de Pérdida V	%	Potencia de Pérdida kW	%
8.300	444	256,3	3,7	120,52	1,5
7.470	399	230,6	3,3	97,62	1,3
6.640	355	205,0	3,0	77,13	1,2
5.810	311	179,4	2,6	59,05	1,0
4.980	266	153,8	2,2	43,39	0,9
4.150	222	128,1	1,8	30,13	0,7
3.320	177	102,5	1,5	19,28	0,6
2.490	133	76,9	1,1	10,85	0,4
1.660	89	51,3	0,7	4,82	0,3
830	44	25,6	0,4	1,21	0,1

Fuente: Elaboración propia

- **Capacidad de Cortocircuito**

El cálculo de la sección del conductor, para determinar la capacidad del corto circuito de conductores de tipo aéreo en MT de aluminio, contempla el oportuno despeje ante una eventual falla por el o los elementos de protección del circuito, que se produzca antes de la posible combustión el conductor. Se utilizarán desconectadores fusibles, interruptores automáticos, reconectadores y pararrayos.

c.5) Estructuras

El diseño de la línea de transmisión contempla la instalación de tres estructuras, que consisten en postes de concreto armado de 10 m, de 350 kg de ruptura, con cruceta metálica de 2,4 m y aisladores de 12 kV para ambiente con alta contaminación y ferretería para los distintos tipo de estructuras (norma TMG), con un vano medio, entre postes, de 45 m y el tendido de tres conductores (uno por fase) de aluminio desnudo tipo AAAC "Canton" de 199,85 mm2 de sección. Estos conductores se montarán en las aislaciones que tengan las estructuras de la línea, cumpliendo las distancias al piso de seguridad establecidas en el artículo Nº107, NSEG-5 E.n. 71. "Instalaciones de Eléctricas de Corrientes Fuertes".

Se debe instalar el conductor más bajo con una altura mínima de 5,5 m sobre el nivel de la calzada. También, se dará cumplimiento a lo establecido en el Capítulo IV de la

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

NSEG-5 E.n. 71., referido a los Cruces de Líneas Aéreas de Corrientes Fuertes. Las estructuras de soporte que se proyectan utilizar son las siguientes:

- Las estructuras de anclaje serán de un poste de hormigón armado y cruceta metálica, atirantados por 2 tirantes de acero, montadas en fundaciones de hormigón armado con pernos de anclaje.

- Las estructuras de suspensión, serán postes de hormigón armado de 10 m de altura y aisladores rígidos tipo espiga.

Se considera además, una faja de protección mínima de 10 m de ancho, es decir, 5 m a cada lado del eje de la línea.

c.6) Interconexión a Línea Existente

En esta etapa se considera prácticamente un reconectador y un equipo compacto de medida, el cual serán ambos del tipo aéreo.

CUADRO 7.8.4.2-7
CARACTERÍSTICAS DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS PRINCIPALES

Elemento	Cantidad	Descripción
Reconectador 12 kV	1	Tripolar Clase 15 kV
Equipo Compacto Medida	1	Trifásico, 12 kV, 10 - 12 MVA
Desconectador Fusible 12 kV	1	Tripolar, Clase 15 kV
Pararrayos 12 kV	3	Monofásicos de Óxido de Zinc, 15 kV

Fuente: Elaboración propia

c.7) Reforzamiento de Líneas Existentes

Tal como se señaló en el punto c), debido a que el alimentador no está diseñado para que se transmitan del orden de 8,3 MW por 1 km, prácticamente hasta la SE Catemu, en los períodos de demanda baja, sino que está diseñada para retiros de energía en forma distribuida por muchos clientes de menor tamaño y distintos ramales, por lo tanto, será necesario reforzar dicha línea (ver Figura 7.8.4.2-5, línea de trazado color rojo).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.8.5. Modelo de Negocios

7.8.5.1. Resumen General

Este inciso tiene por objeto servir como base conceptual para dar a conocer los aspectos más relevantes del sector eléctrico chileno, a la luz de su marco institucional, legal, regulatorio y normativo, entregando un análisis de distintos aspectos relevantes para el desarrollo de proyectos de generación y en particular de ERNC, desde la visión de un inversionista o desarrollador de proyectos, que no necesariamente posee un conocimiento detallado del mercado eléctrico chileno.

En el año 1982, con la promulgación de la Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE), Chile crea las bases de un sistema eléctrico de carácter competitivo, pionero a nivel internacional. El marco reglamentario asociado ha sido perfeccionado a través de los años, manteniendo su definición original de un sistema operado a mínimo costo global.

Los cambios a la LGSE, oficializados en marzo de 2004 mediante la Ley 19.940, conocida como Ley Corta I, modifican un conjunto de aspectos del mercado eléctrico que afecta a todos los medios de generación, introduciendo elementos especialmente aplicables a las Energías Renovables No Convencionales (ERNC). Por otro lado, la incertidumbre del suministro de gas argentino, hace que en el mes de mayo de 2005 se promulgue la Ley 20.018, conocida como Ley Corta II, que permite la licitación de contratos a largo plazo por parte de las empresas distribuidoras y precios superiores al precio de nudo y no sujetos a la variación de éste, creación de un mercado que permita a las generadoras dar incentivos para que los clientes que consumen menos de 2 MW regulen su consumo, entre otros aspectos. Asimismo, el 1 de abril de 2008 entró en vigencia la Ley 20.257, que establece la obligación para las empresas eléctricas que efectúan ventas a clientes finales para que un porcentaje de la energía comercializada provenga de ERNC. Mediante esta ley, aprobada por unanimidad en su último trámite legislativo, se consolidan los esfuerzos emprendidos por el Estado de Chile para remoción de barreras a la incorporación de las ERNC a la matriz de generación eléctrica nacional, como una forma de aportar a los objetivos de seguridad de suministro y sustentabilidad ambiental, que entre otros, rigen la política energética chilena.

Las leyes y los reglamentos asociados a este proceso se han traducido en señales de precio y modelos de negocio que son captados por los tomadores de decisión en el mercado eléctrico. Estas señales también son percibidas por potenciales inversionistas de proyectos ERNC, tanto aquellos actualmente presentes en el mercado eléctrico nacional como nuevos inversionistas. Lo anterior se ha manifestado en un proceso de desarrollo de proyectos de ERNC en los sistemas eléctricos nacionales.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.8.5.2. El Sector Eléctrico Chileno

El marco regulatorio de la industria eléctrica vigente está compuesto por una serie de leyes, reglamentos y normas, que regulan la producción, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica, y la provisión de los servicios complementarios a estas actividades y los servicios asociados al suministro de electricidad. Entre los principales cuerpos normativos se cuentan, la Ley General de Servicios Eléctricos (Decreto con Fuerza de Ley No 4, (LGSE) del Ministerio de Minería), que establece las disposiciones fundamentales para el desarrollo de la actividad económica en esta industria; la Ley Nº 2.224 de 1978, del Ministerio de Minería, que crea la Comisión Nacional de Energía, órgano encargado de la regulación de precios, elaborar la política y promover los cambios legales, reglamentarios y normativos para el buen funcionamiento del sector; y la Ley Nº 18.410 de 1985, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, que norma las atribuciones y responsabilidades de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, órgano fiscalizador del sector.

En el proceso de producción, transporte y distribución de la energía eléctrica, el marco regulatorio distingue, en primer lugar, el segmento de generación, constituido por las centrales generadoras interconectadas al sistema eléctrico, respecto del cual se reconcce que puede operar en condiciones de libre competencia. En la etapa de producción cada empresa genera electricidad inyectando en algún punto de la red interconectada lo que se determine según consignas fijadas por el Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC) y dicha producción de potencia de punta y de energía se valoriza a costos marginales.

En el caso de la energía, este producto se inyecta en la red interconectada en el punto de conexión de la respectiva central generadora. La energía se valoriza a los costos variables de producción de aquella central generadora de mayor costo que está despachada en cada instante, que para efectos prácticos son intervalos de 15 minutos, y que normalmente no es una de las centrales propias sino de un tercero.

Por otra parte, para el producto potencia, el costo marginal tiene que ver con el de inversión de aquella máquina económicamente más eficiente (más barata y técnicamente adecuada) para entregar el kW adicional de potencia que se requiere a la hora de máxima demanda, evento que se produce a las así llamadas horas de punta y en las cuales tiene relevancia el concepto de "potencia firme" que cada empresa tiene. En términos simples, la potencia firme de una central generadora es una fracción de la capacidad efectiva de ella, de modo tal que se cumpla siempre la igualdad relacionada con que la demanda de punta anual del sistema eléctrico total resulte igual a la suma de potencias firmes de todos los integrantes del sistema generador agrupado en el CDEC.

Así entonces, complementariamente a la energía que toda empresa vende en el CDEC, se agregan sus ingresos por potencia firme vendida también en dicho ambiente, y ambos productos se venden a costos marginales calculados en forma absolutamente

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

regulada por ese mismo ente. De aquí, provienen los "ingresos por despacho" de las empresas generadoras.

Por otro lado, toda empresa generadora que participe en el CDEC puede comprar electricidad en cualquier punto de la red interconectada y celebrar contratos comerciales con sus clientes finales, independientemente de su ubicación, clientes que libremente elige sin más obligaciones que las que el propio contrato le impone. Ahora bien, si el cliente elegido es un cliente regulado, las obligaciones del generador son vender electricidad con ciertos estándares de calidad y a precios máximos que son fijados cada seis meses por el Ministerio de Economía. Los clientes regulados son las empresas distribuidoras y aquellos cuya demanda de potencia no excede 2.000 kW. En cambio, si el cliente es lo que denominamos libre (mayor de 2.000 kW), los precios son libremente convenidos y los términos contractuales señalan además las características del producto que las partes convienen transar.

Así entonces, aquí es donde aparece una segunda fuente de resultados para el propietario de una empresa generadora, que podría denominarse "margen de comercialización", resultante de la bondad de los contratos con los consumidores finales de electricidad vendida bajo un precio singular de suministro, libre o regulado. Los costos de servir estos contratos son las compras de energía y potencia a sus respectivos costos marginales en el CDEC y el transporte de la electricidad que corresponda pagar, a modo de peaje a la empresa transmisora. Como se verá más adelante existen distintos tipos de peajes, que se encuentran debidamente regulados.

En segundo lugar, se distinguen a los sistemas de transmisión, que incluyen los sistemas de tensiones mayores a 23 kV, que se subdivide en sistemas de transmisión troncal, sistemas de sub-transmisión y sistemas de transmisión adicional. Para estos sistemas la ley establece, como regla general, que su operación debe realizarse bajo condiciones de acceso abierto y no discriminatorio, contra el pago de peajes por el servicio de transporte de energía y potencia. Sólo en el caso de la transmisión adicional, es posible restringir el acceso por falta de capacidad.

En tercer lugar, la ley reconoce al segmento de distribución eléctrica, el cual tiene características de monopolio natural. Por este motivo se regulan las condiciones de su explotación, los precios que puede cobrar a clientes regulados y la calidad de servicio que debe prestar. La distribución sujeta a regulación de precios, se define como aquella actividad que realiza el transporte de potencia y energía eléctrica a niveles de tensión de 23 kV o menos, y se encarga del suministro de energía a consumidores cuya potencia conectada es inferior o igual a los 2.000 kW, con excepción de aquellos clientes que contraten condiciones especiales de suministro o que, teniendo una potencia conectada superior a los 500 kW e inferior o igual a los 2.000 kW, hayan optado por suscribir un contrato libre. Por otro lado, las empresas generadoras pueden vender energía a clientes de potencia conectada superior a 2.000 kW, o bien clientes que contraten condiciones especiales de suministro o que, teniendo una potencia conectada superior a los 500 kW e inferior o igual a los 2.000 kW, hayan optado

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

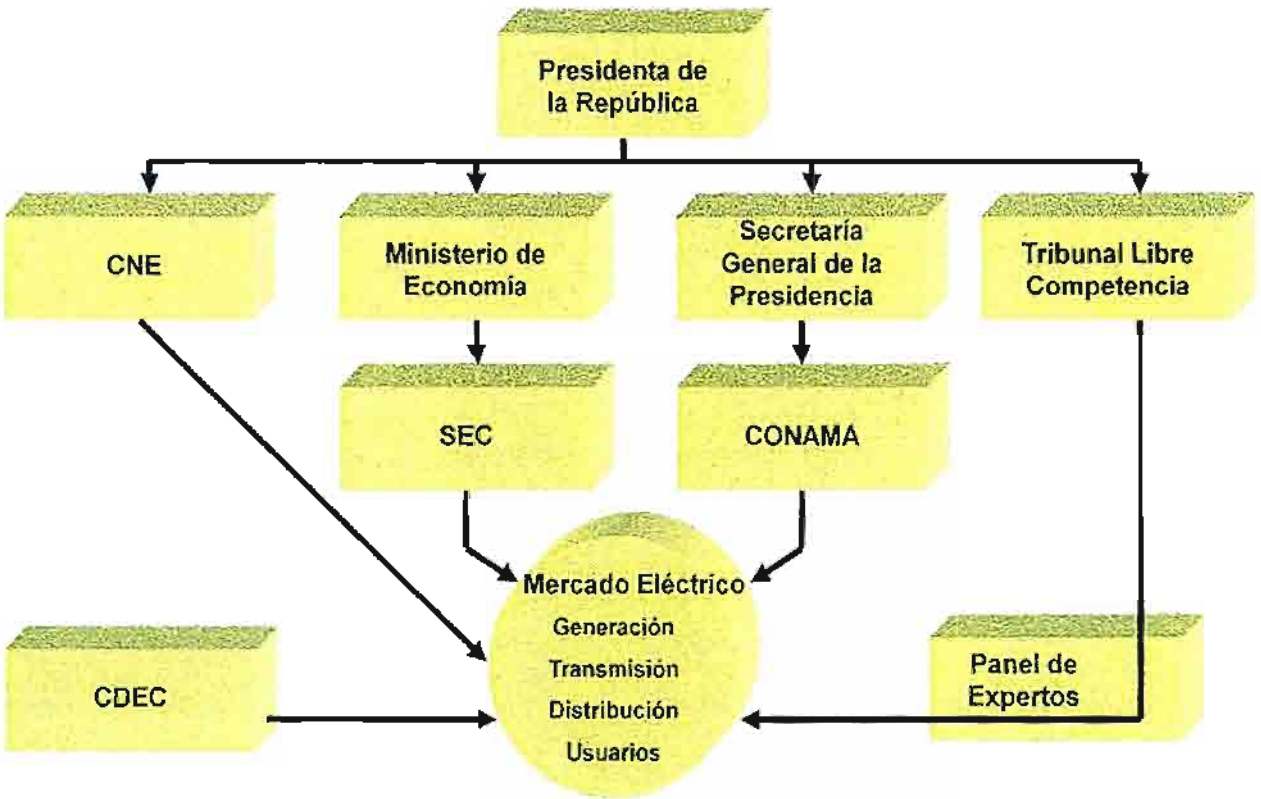
por suscribir un contrato libre, algunos de los cuales se encuentran físicamente instalados en las zonas de concesión de una distribuidora y por lo cual deberán pagar un peaje de distribución, en caso de que usen la red de la distribuidora. Este peaje también se encuentra regulado en la ley.

7.8.5.3. Marco Institucional del Sector Eléctrico

a) *Generalidades*

El sector eléctrico chileno se encuentra estrechamente relacionado con diferentes instituciones del sector público y privado. Estas instituciones y los agentes del mercado se relacionan entre sí en interacciones que pueden ser de coordinación, de dependencia directa, de relaciones contractuales, de propiedad, de efecto vinculante, entre otras. La Figura 7.8.5.3-1 muestra la interacción de los actores del sector eléctrico con las instituciones.

FIGURA 7.8.5.3-1
INTERACCIÓN ENTRE INSTITUCIONES DEL SECTOR ELÉCTRICO



Fuente: Tello, Pablo *"Guía de Apoyo para Desarrolladores de Proyectos Minihidroeléctricos"* Centro de Energías Renovables (CER), Santiago de Chile, 2011, 160 pp.

Las principales instituciones ligadas al sector eléctrico chileno son:

- La Comisión Nacional de Energía (CNE)
- La Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)
- El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)
- El Panel de Expertos de la Ley General de Servicios Eléctricos
- Los Centros de Despacho Económico de Carga (CDEC)
- El Tribunal de Libre Competencia (TLC)

b) *Actores Principales*

En lo que sigue se presenta un resumen con las características de los actores principales del mercado eléctrico Chileno.

b.1) Comisión Nacional de Energía (CNE)

La Comisión Nacional de Energía (CNE) es un organismo fiscal, autónomo y descentralizado, creado bajo el amparo del Decreto Ley N° 2.224 del 25 de mayo de 1978. Es la entidad encargada de elaborar y coordinar los planes, políticas y normas para el buen funcionamiento y desarrollo del sector de energía y asesorar al gobierno en todas aquellas materias relacionadas con la energía.

El sector eléctrico realiza una planificación indicativa de inversiones en generación y transmisión, elabora los reglamentos y normas; le corresponde efectuar el cálculo de tarifas a clientes regulados, entre otras actividades que se encuentran expresamente indicadas en la ley.

La dirección superior de la CNE corresponde a un Consejo Directivo integrado por un representante del Presidente de la República, quien tiene el rango de Ministro Presidente de la Comisión Nacional de Energía y por los Ministros de Minería; de Economía, Fomento y Reconstrucción; de Hacienda; de Defensa Nacional; de la Secretaría General de la Presidencia y de Planificación y Cooperación. Cabe mencionar que durante el año 2008 entró a tramitación al Congreso de la República un proyecto de ley que crea el Ministerio de Energía, por lo que la CNE quedaría adscrita a este ministerio.

b.2) Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)

La Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) fue creada en el año 1984. Desde entonces sus funciones han evolucionado y en la actualidad, de acuerdo a lo establecido en las Leyes N° 18.410 de 1985 y N° 19.613 del 8 de junio de 1999, tiene por

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

misión vigilar la adecuada operación de los servicios de electricidad, gas y combustibles, en términos de su seguridad, calidad y precio.

Es responsabilidad de la SEC fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones legales, reglamentarias y normativas, otorgar las concesiones provisionales de plantas productoras de gas, de centrales productoras de energía eléctrica, de subestaciones eléctricas, de líneas de transporte y de líneas de distribución de energía eléctrica, resolver conflictos, autorizar servidumbres, amonestar, aplicar multas, entre otras.

b.3) Ministerio del Medio Ambiente

El Ministerio del Medio Ambiente es la institución del Estado que tiene como misión velar por el derecho de la ciudadanía a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.

Es responsabilidad de este Ministerio actuar como un servicio de consulta, análisis, comunicación y coordinación en materias relacionadas con el medio ambiente. Además, debe proponer al Presidente de la República, políticas para la gestión ambiental e informar sobre el cumplimiento de la legislación vigente. Asimismo, es la encargada de administrar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), elaborar normas ambientales y planes de prevención y descontaminación, entre otras.

La ley contempla, además, la existencia de las Comisiones Regionales de Medio Ambiente (COREMAS). Son comisiones que se reúnen periódicamente para coordinar la gestión ambiental de la región, como sucede con la calificación ambiental de los proyectos o actividades sometidas al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental u otra decisión regional importante. Las COREMAS están integradas por el Intendente Regional, quien la preside, los Gobernadores provinciales de la región, los Secretarios Regionales de aquellos Ministerios que forman el Consejo Directivo del SEA, cuatro consejeros regionales, y el Director Regional del SEA, que actúa como secretario.

La ley contempla, además, la existencia de un Comité Técnico de COREMA, el cual está integrado por el Director Regional del SEA, que lo preside, y por los directores regionales de los servicios públicos que tengan competencia en materias ambientales.

Es importante notar que al igual que en el sector energía, durante el año 2008 entró a tramitación al Congreso de la República un proyecto de ley que crea el Ministerio del Medio Ambiente.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

b.4) Centros de Despacho Económico de Carga (CDEC)

Son órganos de derecho privado encargados de coordinar la operación del sistema eléctrico, tienen sus funciones definidas en la Ley Eléctrica y en el Reglamento aprobado por el Decreto Supremo N° 291 de fecha 4 de octubre de 2008, con la responsabilidad de:

- Preservar la seguridad global del sistema eléctrico.
- Garantizar la operación más económica para el conjunto de las instalaciones del sistema eléctrico.
- Garantizar el acceso abierto a los sistemas de transmisión.
- Determinar los costos marginales de energía y las transferencias económicas entre los integrantes del CDEC.

Cada sistema interconectado mayor posee su propio CDEC, por lo que existen el CDEC-SIC y CDEC-SING para los sistemas interconectados central y del norte grande respectivamente.

Los integrantes del CDEC corresponden a todas aquellas empresas que posean instalaciones de generación, transmisión, sub-transmisión, transmisión adicional y clientes libres conectados directamente a instalaciones de transmisión. Sin embargo, de acuerdo con la reglamentación, se pueden abstener de conformar el CDEC las empresas que cumplan con las siguientes características:

- Empresas propietarias de centrales eléctricas, cuya capacidad instalada total sea inferior a 9 MW.
- Empresas que posean la calidad de autoproductor, cuyos excedentes totales de capacidad instalada de generación sean inferiores a 9 MW.
- Empresas propietarias de instalaciones de transmisión troncal, cuyos tramos de líneas de transmisión troncal no superen, en total, los 100 km
- Empresas propietarias de instalaciones de sub-transmisión cuyos tramos de líneas de sub-transmisión no superen, en total, los 100 km.
- Empresas propietarias de instalaciones de transmisión adicionales, cuyos tramos de líneas de transmisión adicional no superen, en total, 100 km.
- Clientes libres cuya barra de consumo por medio de la cual se conectan a un sistema de transporte tenga una potencia total en dicha barra inferior a 4 MW.

El directorio de los CDEC, de acuerdo con el D.S. 291, estará conformado de la siguiente manera:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

a) Dos representantes del segmento que corresponde a los integrantes propietarios de centrales eléctricas cuya capacidad instalada total sea inferior a 300 MW.
b) Tres representantes del segmento que corresponde a los integrantes propietarios de centrales eléctricas cuya capacidad instalada total sea igual o superior a 300 MW.
c) Dos representantes del segmento que corresponde a los integrantes propietarios de instalaciones de transmisión troncal.
d) Dos representantes del segmento que corresponde a los integrantes propietarios de instalaciones de sub-transmisión.
e) Un representante del segmento que corresponde a los integrantes clientes libres, abastecidos directamente desde instalaciones de un sistema de transmisión.

El CDEC a su vez se conforma por tres direcciones que son: Dirección de Operación, Dirección de Peajes, y Dirección de Administración y Presupuesto.

b.5) El Panel de Expertos de la Ley General de Servicios Eléctricos

El Panel de Expertos de la Ley General de Servicios Eléctricos es un órgano creado por la Ley N° 19.940 en forma exclusiva para el sector eléctrico, con competencia acotada, integrado por profesionales expertos, cuya función es pronunciarse, mediante dictámenes de efecto vinculante, sobre aquellas discrepancias y conflictos que se susciten con motivo de la aplicación de la legislación eléctrica que le deben ser sometidas conforme a la ley y sobre las demás que dos o más empresas del sector eléctrico, de común acuerdo, sometan a su decisión.

La institución la integran siete profesionales de amplia trayectoria profesional o académica. Cinco de ellos deben ser ingenieros o licenciados en ciencias económicas, nacionales o extranjeros, y dos deben ser abogados. Los integrantes y un Secretario Abogado son designados por el Tribunal de Defensa de la Libre Competencia, mediante un concurso público por periodos de seis años. La composición se renueva en forma parcial cada tres años.

b.6) Tribunal de Defensa de la Libre Competencia

Otra de las instituciones importantes de mencionar, que si bien no se vincula solamente con el sector eléctrico, dado que una de las motivaciones de la normativa del sector eléctrico es fomentar la competencia, es el Tribunal de Defensa de la Libre Competencia. La institución fue creada mediante la Ley N° 19.911, publicada en el Diario Oficial del 14 de noviembre de 2003.

Se trata de un tribunal especial, colegiado, asimilable a una sala de la Ilustrísima Corte de Apelaciones, dedicado exclusivamente a materias de competencia, integrado por

tres abogados y dos economistas, todos expertos en competencia, quienes tienen el rango de Ministros.

Este tribunal es un órgano jurisdiccional especial e independiente, sujeto a la superintendencia directiva, correccional y económica de la Corte Suprema, cuya función es prevenir, corregir y sancionar los atentados a la libre competencia.

Resolución de Conflictos

En el caso de proyectos ERNC, dependiendo del tipo de proyecto, en relación al sistema eléctrico al que se conecta (distribución, sub-transmisión, transmisión) y el modelo de comercialización elegido (fuera del mercado mayorista, participación en el mercado spot, contratos de suministro), las discrepancias y conflictos que se susciten con motivo de la aplicación de la legislación eléctrica serán resueltas por una de las siguientes instituciones:

- Panel de Expertos
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

Para cada tema en discrepancia, la normativa del sector estipula la institución encargada de resolver la discrepancia o conflicto específico. A modo de ejemplo, en la relación entre un PMGD y una empresa de distribución, es la SEC la institución encargada.

7.8.5.4. Modelo de Mercado Eléctrico

a) *Generalidades*

El modelo de mercado mayorista, está basado en una estructura tipo pool o mancomunado, como se muestra en la Figura 7.8.5.4-1, con participación obligatoria y existencia de contratos bilaterales de tipo financiero.

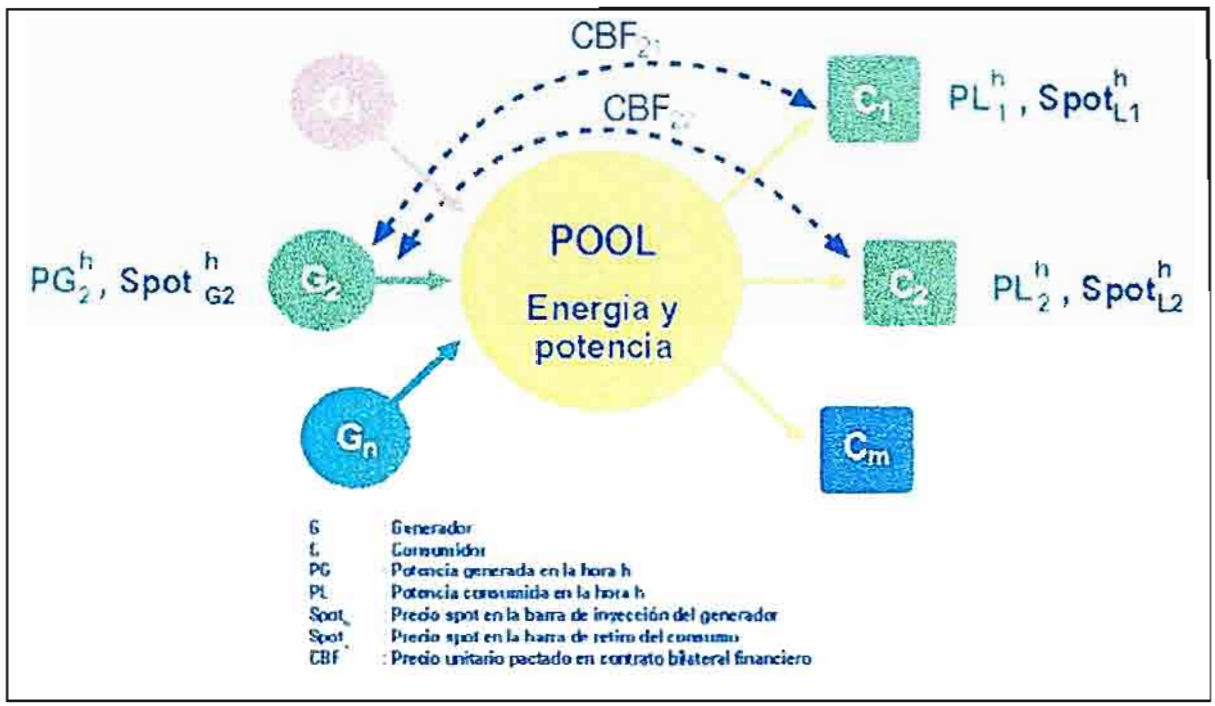
El pool, por medio de un mecanismo regulado y reconocido por todos sus miembros, establece el precio de mercado de corto plazo de la electricidad *("clearing price"* o "precio spot"), que es el precio de despeje del mercado (mercado spot). Este precio resulta de la realización de una operación económica centralizada por parte del operador de mercado (CDEC) y puede ser distinto en cada zona del sistema.

El despacho centralizado a cargo de los CDEC se basa en la entrega de costos de operación por parte de las empresas generadoras (costos susceptibles de ser auditados). Como consecuencia, se obtiene el despacho horario del sistema que corresponde a un orden de mérito en función del costo variable de operación, que da lugar a las transferencias o intercambios comerciales de energía del sistema entre las empresas antes descritas. El

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

diseño de mercado no contempla en forma explícita la figura de un comercializador. Son as empresas de generación y empresas de distribución las que ejercen este rol.

FIGURA 7.8.5.4-1
MODELO DE MERCADO ELÉCTRICO – POOL DE ENERGÍA Y POTENCIA



Fuente: Tello, Pablo *"Guía de Apoyo para Desarrolladores de Proyectos Minihidroeléctricos"* Centro de Energías Renovables (CER), Santiago de Chile, 2011, 160 pp.

El mercado mayorista de electricidad en Chile está conformado por las empresas generadoras que transan energía y potencia entre sí, las que dependen de los contratos de suministro que cada una haya suscrito. Aquellas, que por despacho tienen una generación superior a la comprometida por contratos (empresas excedentarias) venden, y compran aquellas que por despacho tienen una generación inferior a la energía y potencia contratadas con clientes (empresas deficitarias).

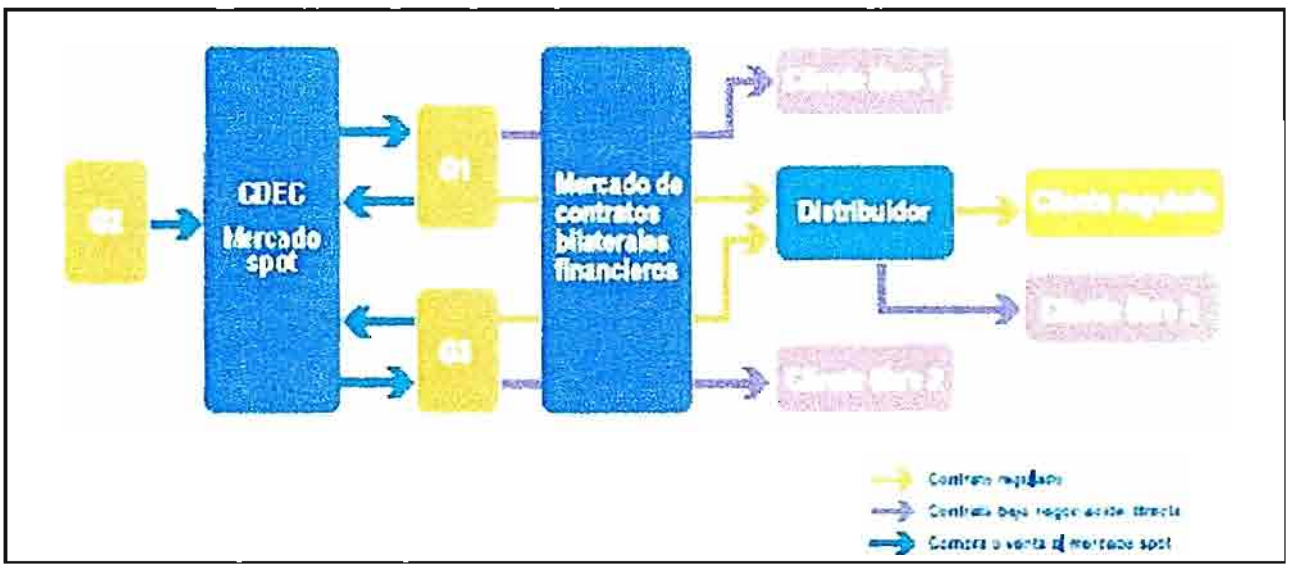
Las transferencias físicas y monetarias (ventas y compras) son determinadas por el respectivo CDEC, y se valorizan, en el caso de la energía, en forma horaria al costo marginal (Cmg) resultante de la operación del sistema en esa hora. En el caso de la potencia, las transferencias son valorizadas al precio de nudo de la potencia correspondiente.

La Figura 7.8.5.4-2, resume las interacciones básicas que se observan en el mercado mayorista en Chile. En el caso de los contratos bilaterales financieros, las líneas

violetas representan contratos que se definen mediante negociación directa y libre entre las partes (G1 con Cliente Libre 1), mientras que las líneas amarillas representan contratos que son regulados, por ejemplo el caso de G3 con la empresa de distribución. También es importante notar que, en la figura se muestra que el mercado spot es cerrado a los generadores, y que pueden existir algunos de ellos cuyo negocio sea sólo ventas a este mercado, como es el caso de G2. La compra venta de los generadores en el mercado spot se representa mediante las flechas verdes.

Cabe señalar que los contratos de suministro que pueda establecer una empresa distribuidora con clientes libres no forman parte del mercado spot ni del concepto de mercado mayorista antes descrito. En el caso de la figura anterior, el contrato entre la empresa distribuidora y el cliente libre 3 no participa directamente en el mercado mayorista y sólo forma parte de las transferencias de energía y potencia a través del contrato de suministro entre la empresa distribuidora y los generadores G1 y G3.

FIGURA 7.8.5.4-2
INTERACCIONES EN EL MERCADO MAYORISTA



Fuente: Tello, Pablo *"Guía de Apoyo para Desarrolladores de Proyectos Minihidroeléctricos"* Centro de Energías Renovables (CER), Santiago de Chile, 2011, 160 pp.

b) *El Mercado Spot*

El diseño del mercado eléctrico chileno se basa en la teoría marginalista antes descrita, que contempla un esquema de precios de energía y potencia a ser pagados por los consumidores.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Como se ha indicado, el mercado eléctrico chileno es del tipo pool obligatorio, de generación auditados y un mercado mayorista spot (horario) cerrado a los generadores. Este aspecto distingue el mercado chileno de aquellos basados en bolsas de energía con ofertas libres de compra y venta. La Figura 7.8.5.4-3, muestra las interacciones de los diferentes agentes en el esquema de mercado chileno. Asimismo, cabe señalar que en el mercado eléctrico chileno no existe el concepto de contratos bilaterales físicos, típico en el mercado común europeo de electricidad, donde los contratos de suministro entre agentes privados tienen el derecho a ser informados al operador del sistema y traducirse en un despacho físico. En el caso de Chile, los contratos de suministro privados sólo tienen un carácter financiero, siendo el CDEC la entidad que realiza el despacho físico hora a hora, basado en la información de costos de operación de cada una de las unidades generadoras.

El mercado eléctrico en Chile, focaliza la competencia en la concreción de proyectos de generación eficientes (costos de inversión y operación) y en la buena gestión comercial de contratos bilaterales con clientes libres y regulados.

A diferencia de lo observado a nivel internacional, dado que en Chile no existe un esquema de ofertas, sino que una comunicación de los costos de generación, la definición de estrategias de ofertas para la compra y venta de energía no corresponde a un elemento crítico en el desempeño competitivo.

En el mercado mayorista, de acuerdo a compromisos contractuales de abastecimiento, se realizan transferencias de energía y potencia entre empresas generadoras. La energía es valorada al costo marginal horario de producción, mientras que la potencia es valorada al precio de nudo de la potencia.

En la Figura 7.8.5.4-3, se aprecia que las empresas generadoras se relacionan con el mercado spot a través de compras y venta de energía y potencia, al costo marginal de la energía (Cmg) y precio de la potencia respectivamente. Este esquema también es aplicable a los PMG, PMGD y otros proyectos ERNC. Sin embargo, en el caso de los PMG y PMGD también es factible acceder a un precio estabilizado en las ventas de energía (ver Reglamento del D.S. 244).

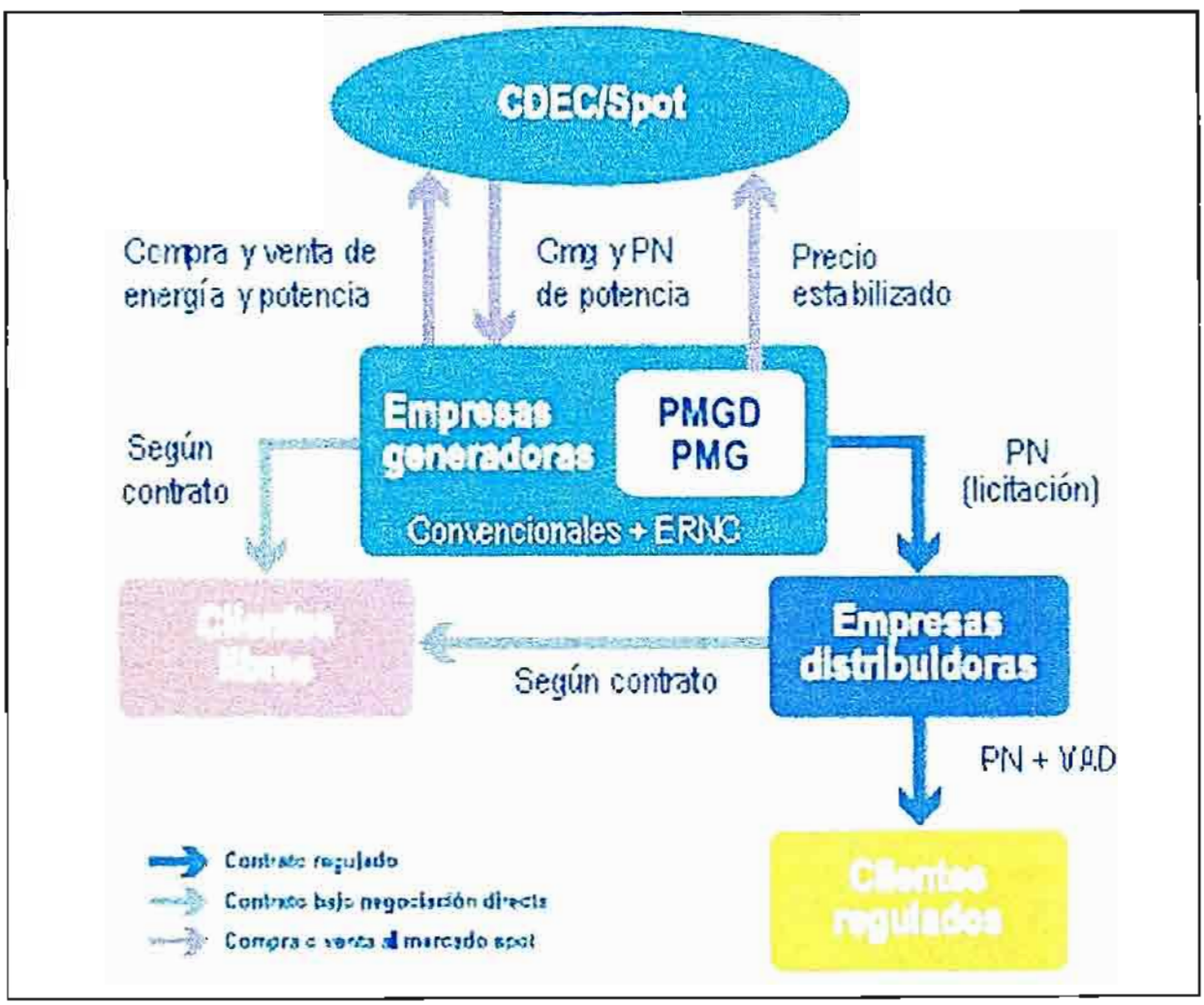
A su vez, las empresas generadoras poseen contratos con los clientes libres a precios libremente pactados (clientes no regulados) y con las empresas distribuidoras a precio de nudo determinado por la autoridad (cálculo semestral de la CNE utilizando el plan de obras indicativo y estimando los costos marginales para los próximos 48 meses) para aquellos contratos de suministro suscritos en forma previa a la Ley 20.018, o bien a través de un proceso regulado de licitaciones de suministro (clientes regulados) para los contratos regidos por la Ley 20.018 (suministros a partir del año 2010 en adelante).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Por su parte, las empresas distribuidoras venden su energía a clientes regulados haciendo uso de las distintas tarifas reguladas para clientes finales, o bien, a clientes libres que no desean pactar libremente contratos de suministro con las empresas de generación.

El precio de nudo de la potencia señalado en la Figura 7.8.5.4-3, se determina semestralmente por la autoridad como el costo de desarrollo de la tecnología más económica para dar suministro en horas de mayor demanda. A cada unidad generadora, dependiendo de las características de su energético primario, su tasa de fallas forzadas, salidas de operación programadas y su contribución conjunta en el sistema, se le reconoce una potencia con la cual se determina su ingreso por potencia (venta de potencia).

FIGURA 7.8.5.4-3
INTERACCIÓN ENTRE AGENTES DEL MERCADO ELÉCTRICO CHILENO

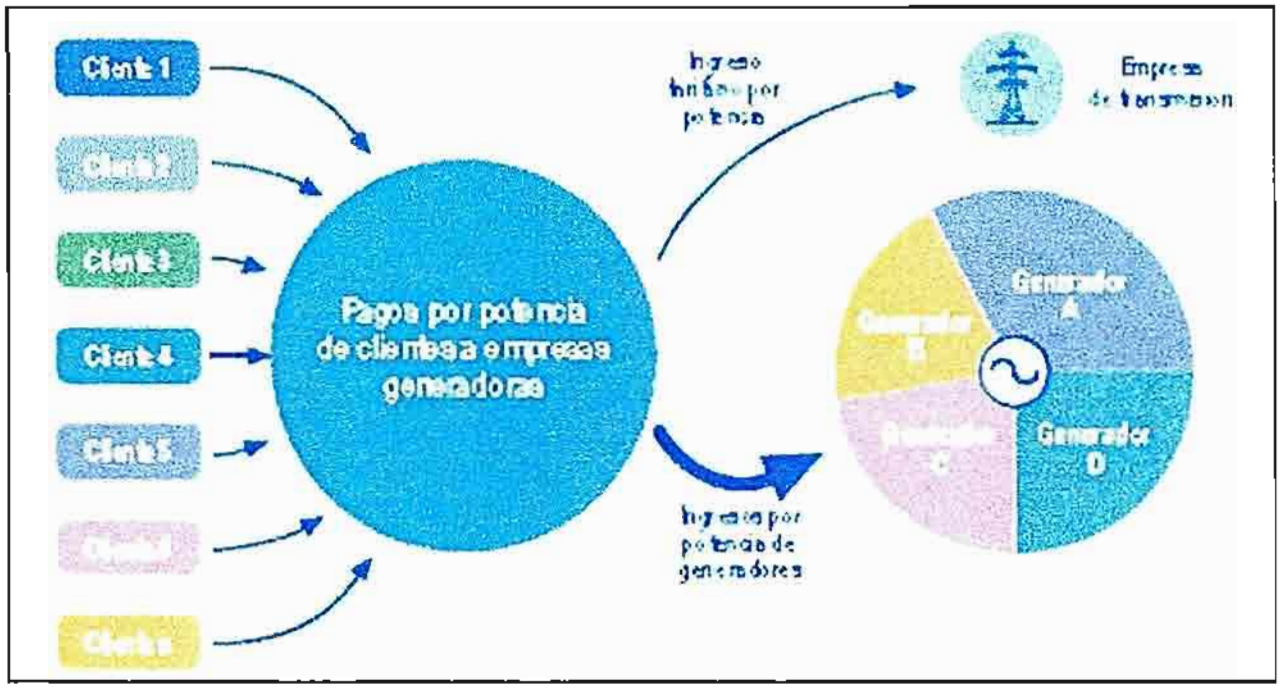


Fuente: Tello, Pablo *"Guía de Apoyo para Desarrolladores de Proyectos Minihidroeléctricos"* Centro de Energías Renovables (CER), Santiago de Chile, 2011, 160 pp.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

A este tipo de mecanismo se le conoce en la literatura internacional como "pago por capacidad de tipo administrativo", ya que no es el mercado quien la determina, sino que es un organismo administrativo quien evalúa y determina precios y cantidades. En el caso de Chile, los organismos son la CNE y el CDEC respectivamente. Asimismo, cada empresa generadora, de acuerdo a sus contratos de suministro y al comportamiento de estos consumos en condiciones de demanda de punta, es responsable de realizar compras de potencia en el sistema. Las compras de potencia son transferidas por los generadores como cargos de potencia a sus clientes libres y clientes regulados. En este caso, el procedimiento es regulado. La Figura 7.8.5.4-4, resume las transferencias de potencia que se realizan entre los distintos agentes del mercado en el mercado spot.

FIGURA 7.8.5.4-4
ESQUEMA DE PAGOS POR POTENCIA



Fuente: Tello, Pablo *"Guía de Apoyo para Desarrolladores de Proyectos Minihidroeléctricos"* Centro de Energías Renovables (CER), Santiago de Chile, 2011, 160 pp.

Se aprecia que los cargos por potencia a clientes finales, teóricamente, cubren los ingresos por potencia de las centrales generadoras. La posición excedentaria o bien deficitaria de potencia de una empresa de generación dependerá de los contratos de suministro que ésta posea. A modo de ejemplo, una empresa que no posee contratos de suministro siempre será excedentaria en las transferencias de potencia, dado que no tiene obligaciones declaradas y éstas no se descontarán en su balance.

Si bien el esquema chileno de precios considera el costo de expansión a través del valor de desarrollo de la potencia de punta, igualmente contempla la remuneración de la energía al costo de falla.

En efecto, el costo marginal de energía corresponde al costo de energia no suministrada durante los periodos de racionamiento, y tanto los modelos de cálculo de precios a clientes regulados, como los de planificación de la operación, incorporan el costo de la energía no suministrada al optimizar la operación del sistema.

c) ***Mercado de Contratos***

El mercado de contratos corresponde a un mercado de tipo financiero con contratos pactados libremente entre las partes. El mercado de contratos presenta las siguientes características:

- Los generadores pueden hacer contratos con empresas distribuidoras y clientes libres.
- Los contratos con empresas distribuidoras pueden ser para el abastecimiento de clientes regulados o para clientes libres.
- Los contratos son confidenciales, especificaciones sobre punto de suministro y cantidades deben ser informadas al CDEC para su administración.
- En el mercado de contratos se establece una obligación de suministrar y una obligación de comprar a un precio predeterminado. Normalmente las mediciones se realizan hora a hora.
- Los contratos son financieros, es decir, el generador siempre compra en el mercado spot para vender en el mercado de contratos, se encuentre o no despachado. El contrato financiero permite dar estabilidad de precio a los agentes compradores y vendedores, de acuerdo a las expectativas de la evolución de los costos marginales que cada cual tenga.
- Los clientes libres son aquellos consumidores con potencia conectada superior a 2 MW y es optativo, por al menos cuatro años, pertenecer a esta categoría si la potencia conectada es superior a 0,5 MW e inferior a 2 MW.
- Anteriormente, la venta a distribuidores se realiza al precio de nudo de energía y potencia. Sin embargo, a partir del presente año 2010 los precios de clientes regulados quedan establecidos a partir de los precios de energía y potencia resultantes de licitaciones públicas de suministro.

d) **Servicios Complementarios**

No fue sino hasta la promulgación de la Ley 19.940 de marzo del 2004, que se distingue formalmente entre los conceptos de suficiencia y seguridad del sistema eléctrico,

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

derivando este último a la implementación de servicios complementarios (SSCC). En relación a los SSCC establece que "todo propietario de instalaciones eléctricas interconectadas deberá prestar los SSCC de que disponga que permitan realizar la coordinación de la operación del sistema conforme a las normas de seguridad y calidad de servicio".

Los conceptos son definidos en forma explícita como:

- **Suficiencia:** atributo de un sistema eléctrico cuyas instalaciones son adecuadas para abastecer su demanda.
- **Seguridad de servicio:** capacidad de respuesta de un sistema eléctrico, o parte de él, para soportar contingencias y minimizar la pérdida de consumos, a través de respaldos y de servicios complementarios.
- **Servicios complementarios (SSCC):** recursos técnicos presentes en las instalaciones de generación, transmisión, distribución y de clientes no sometidos a regulación de precios con que deberá contar cada sistema eléctrico para la coordinación de la operación del sistema en los términos dispuestos en el artículo 137° del DFL N° 4.

Son servicios complementarios aquellas prestaciones que permiten efectuar, a lo menos, un adecuado control de frecuencia, control de tensión y plan de recuperación de servicio, tanto en condiciones normales de operación como ante contingencias.

Se encarga a los CDEC la tarea de definir, administrar y operar estos servicios, ateniéndose a las exigencias de calidad y seguridad establecidas en la normativa y minimizando el costo de operación del sistema. En relación a la remuneración de estos servicios, se establece que los propietarios de instalaciones deberán declarar los costos incurridos por la prestación de los SSCC, los que posteriormente deberán ser valorados por los respectivos CDEC. La compatibilización de los precios de estos servicios con los cobros por concepto de energía será definida en un Reglamento complementario a la LGSE. De este modo, el regulador avanza en la separación de los atributos de seguridad y suficiencia, tanto a nivel conceptual como de remuneración.

7.8.5.5. Ley de Energías Renovables No Convencionales (LEY N° 20257)

El 1 de abril de 2008 entró en vigencia la Ley 20.257 que establece una obligación para las empresas eléctricas que un porcentaje de la energía comercializada provenga de fuentes ERNC.

Las disposiciones principales de la ley son:

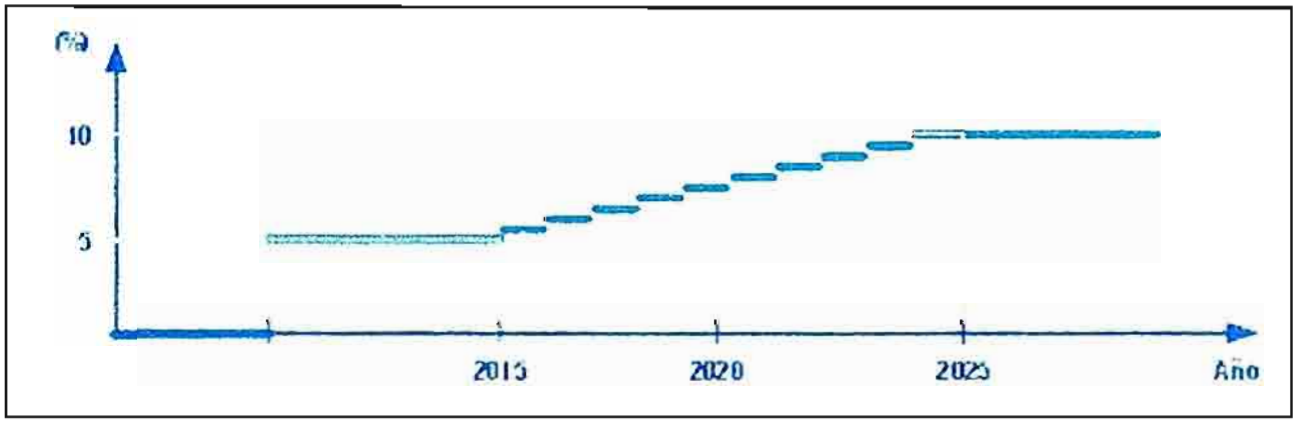
- Cada empresa eléctrica que efectúe retiros de energía desde los sistemas eléctricos con capacidad instalada superior a 200 MW (es decir, el SING y el SIC)

M° Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

para comercializarla con distribuidoras o con clientes finales, deberá acreditar que una cantidad de energía equivalente al 10% de sus retiros en cada año calendario haya sido inyectada a cualquiera de dichos sistemas, por medios de generación renovables no convencionales, propios o contratados.

- Entre los años 2010 y 2014, la obligación de suministrar energía con medios renovables no convencionales será de 5%. A partir de 2015, este porcentaje se incrementará en 0,5% anual, hasta llegar al 10% en el año 2024. Este aumento progresivo se aplicará de tal manera, que los retiros afectos a la obligación el año 2015, deberán cumplir con un 5,5%, los del año 2016 con un 6% y así sucesivamente, hasta alcanzar el año 2024 el 10% provisto, como muestra la Figura 7.8.5.5-1.

FIGURA 7.8.5.5-1
SUMINISTRO DE ENERGÍA CON MEDIOS RENOVABLES (ERNC)



Fuente: Tello, Pablo *"Guía de Apoyo para Desarrolladores de Proyectos Minihidroeléctricos"* Centro de Energías Renovables (CER), Santiago de Chile, 2011, 160 pp.

- La empresa eléctrica que no acredite el cumplimiento de la obligación al 1 de marzo siguiente al año calendario correspondiente, deberá pagar un cargo, cuyo monto será de 0,4 UTM por cada MWh de déficit respecto de su obligación. Si dentro de los tres años siguientes incurriese nuevamente en incumplimiento de su obligación, el cargo será de 0,6 UTM por cada MWh de déficit.
- Esta obligación regirá a contar del 1 de enero del año 2010, y se aplicará a todos los retiros de energía para comercializarla con distribuidoras o con clientes finales cuyos contratos se suscriban a partir del 31 de agosto de 2007, sean contratos nuevos, renovaciones, extensiones u otras convenciones de similar naturaleza.
- Cualquier empresa eléctrica que exceda su obligación de inyecciones de energía renovable no convencional podrá convenir el traspaso de sus excedentes a otra empresa eléctrica, los que podrán realizarse incluso entre empresas de diferentes sistemas eléctricos.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Es importante notar que el cumplimiento de esta ley sólo es válido para ERNC producida por instalaciones que se hayan conectado al sistema a partir del 1 de enero de 2007.
- Sólo para los efectos de la acreditación de la obligación establecida en la ley, se reconocen también parte de las inyecciones provenientes de centrales hidroeléctricas cuya potencia máxima sea igual o inferior a 40 MW, aún cuando los proyectos hidroeléctricos superiores a 20 MW no son definidos como ERNC en la ley. Este reconocimiento corresponde a un factor proporcional que es nulo para potencias iguales o mayores a la potencia señalada.

7.8.5.6. Definición de Medios de Generación de ERNC

De acuerdo a la última modificación de la LGSE (Ley 20.257), los medios de generación renovables no convencionales (ERNC) son los que presentan cualquiera de las siguientes características:

Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía de la biomasa, correspondiente a la obtenida de materia orgánica y biodegradable, la que puede ser usada directamente como combustible o convertida en otros biocombustibles líquidos, sólidos o gaseosos. Se entenderá incluida la fracción biodegradable de los residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios.

Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía hidráulica y cuya potencia máxima sea inferior a 20 MW.

Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía geotérmica, entendiéndose por tal la que se obtiene del calor natural del interior de la tierra.

Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía solar, obtenida de la radiación solar.

Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía eólica, correspondiente a la energía cinética del viento.

Aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía de los mares, correspondiente a toda forma de energía mecánica producida por el movimiento de las mareas, de las olas y de las corrientes, así como la obtenida del gradiente térmico de los mares.

Otros medios de generación determinados fundadamente por la Comisión Nacional de Energía, que utilicen energías renovables para la generación de electricidad, contribuyan a diversificar las fuentes de abastecimiento de energía en los sistemas eléctricos

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.c

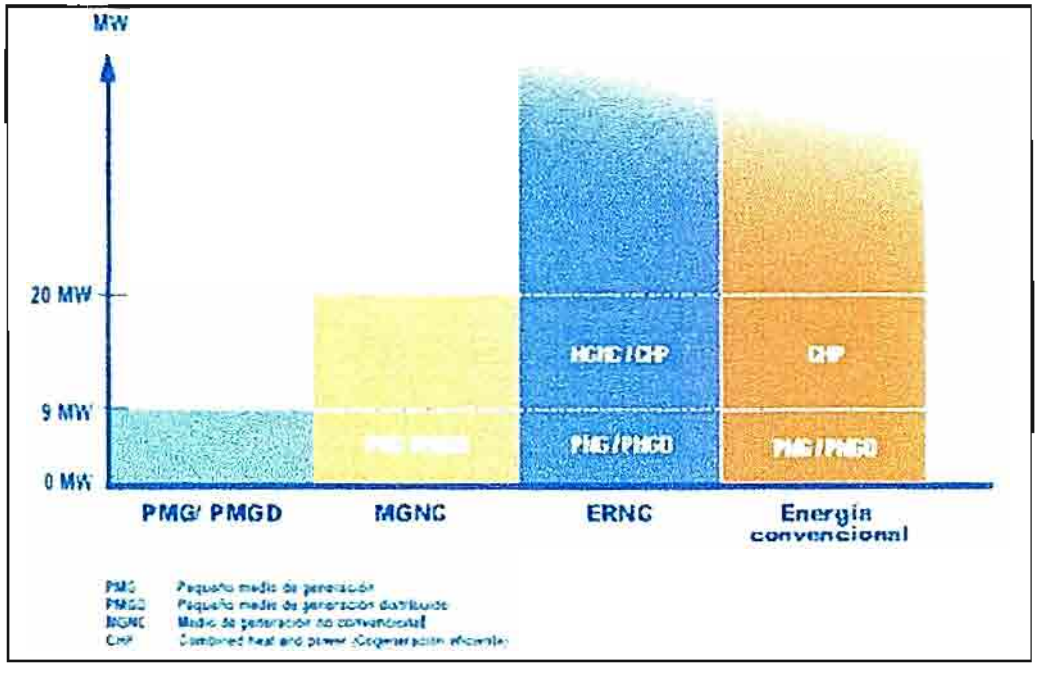
y causen un bajo impacto ambiental, conforme a los procedimientos que establezca el reglamento.

Asimismo, se definen los siguientes conceptos:

- Energía renovable no convencional: aquella energía eléctrica generada por medios de ***generación renovables no convencionales***.
- Instalación de cogeneración eficiente: instalación en la que se genera energía eléctrica y calor en un solo proceso de elevado rendimiento energético, cuya potencia máxima suministrada al sistema sea inferior a 20 MW y que cumpla los requisitos a establecerse en un futuro reglamento. En especial no se considera ERNC las instalaciones de cogeneración eficiente, a menos que utilicen biomasa como energético primario u otro energético primario de tipo renovable.

La clasificación de medios de generación renovables no convencionales, agrupa un conjunto de sub-clasificaciones a las que la Ley 19.940, Ley 20.257 y el reglamento del D.S. 244 han conferido derechos y obligaciones particulares. La Figura 7.8.5.6-1, muestra en forma esquemática los distintos medios de generación y sus interrelaciones.

FIGURA 7.8.5.6-1
MEDIOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA



Fuente: Tello, Pablo *"Guía de Apoyo para Desarrolladores de Proyectos Minihidroeléctricos"* Centro de Energías Renovables (CER), Santiago de Chile, 2011, 160 pp.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Clasificación:

1) **PMGD**: Medios de generación cuyos excedentes de potencia sean menores o iguales a 9 MW, conectados a instalaciones de una empresa concesionaria de distribución, o a instalaciones de una empresa que posea líneas de distribución de energía eléctrica que utilicen bienes nacionales de uso público. A los PMGD se les confiere el derecho a conectarse a las redes de distribución.

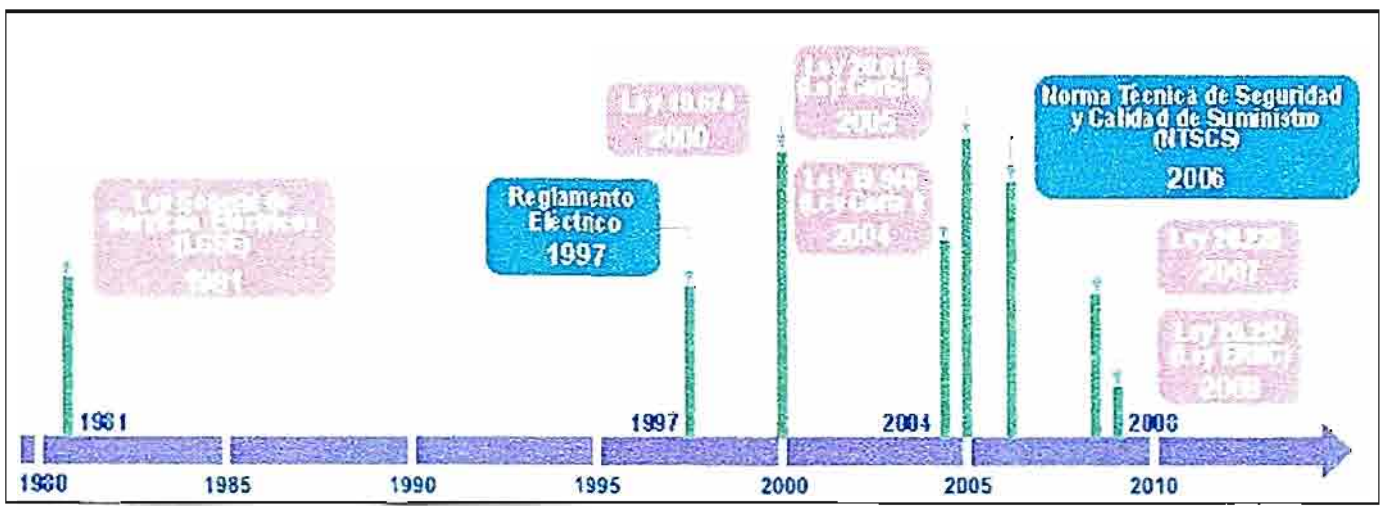
2) **PMG**: Medios de generación cuyos excedentes de potencia suministrables al sistema sean menores o iguales a 9 MW, conectados a instalaciones pertenecientes a un sistema troncal, de sub-transmisión o adicional.

3) **MGNC**: Medios de generación cuya fuente sea no convencional y sus excedentes de potencia suministrada al sistema sean inferiores a 20 MW. La categoría de MGNC, no es excluyente con las categorías indicadas en los dos puntos precedentes. Esta categoría junto a los proyectos ERNC menores a 20 MW, también incluye los proyectos de cogeneración eficiente a base de combustibles fósiles menores a 20 MW.

7.8.5.7. Marco de Regulación para las ERNC

El marco normativo del sector eléctrico chileno, cuyos hitos principales, en relación a las ERNC, se detallan en la Figura 7.8.5.7-1; en su origen no realizó una distinción normativa para las energías renovables no convencionales.

FIGURA 7.8.5.7-1
LEYES RELACIONADAS CON LA ENERGÍA ELÉCTRICA



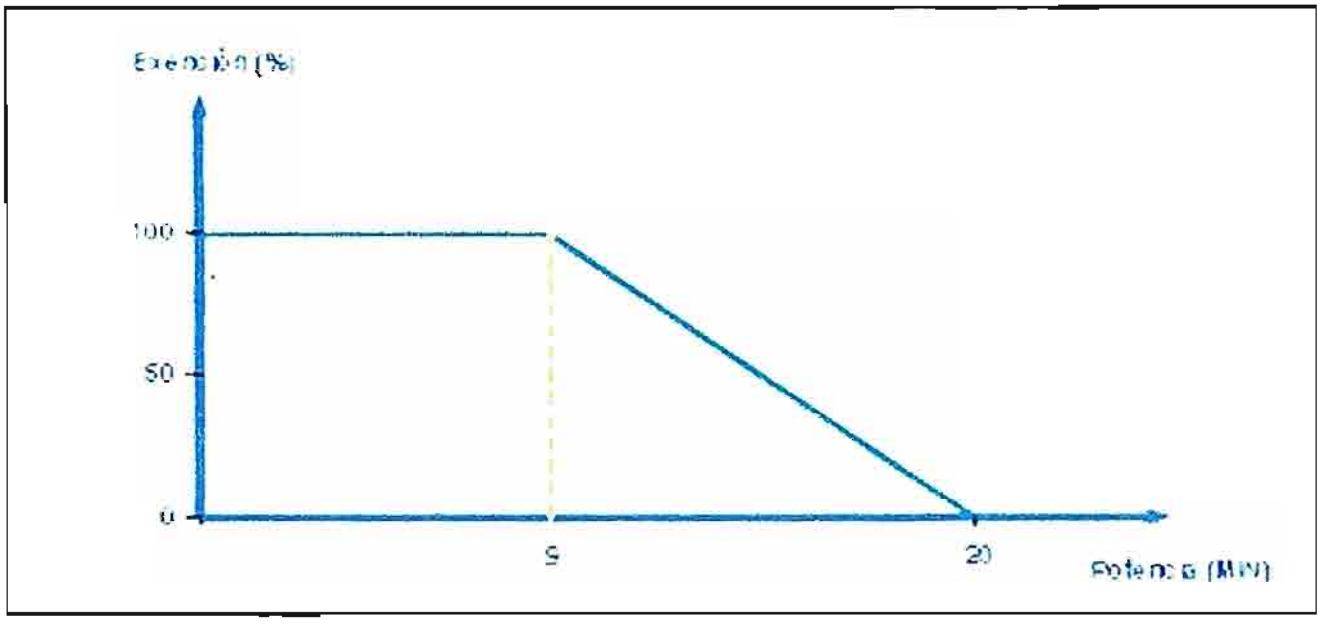
Fuente: Tello, Pablo *"Guía de Apoyo para Desarrolladores de Proyectos Minihidroeléctricos"* Centro de Energías Renovables (CER), Santiago de Chile, 2011, 160 pp.

Sin embargo, las modificaciones de la LGSE, oficializadas en marzo de 2004 mediante la Ley 19.940, modificaron un conjunto de aspectos del mercado de generación eléctrica que afecta a todos los medios de generación, introduciendo elementos especialmente aplicados a las ERNC. Se abre el mercado spot y se asegura el derecho a conexión a las redes de distribución a pequeñas centrales, tamaño en el que normalmente se encuentran muchas ERNC, con lo que aumentan las opciones de comercialización de la energía y potencia de dichas centrales.

Adicionalmente, se establece una exención de pago de peajes por el sistema de transmisión troncal para los MGNC (con un tratamiento diferenciado para unidades menores a 9 MW de las mayores a 9 MW y hasta 20 MW. Al respecto cabe mencionar que para aquellas unidades con potencia entre 9 y 20 MW, la exención de peajes se determina mediante un ajuste proporcional, siendo completa (100%) para 9 MW y nula para medios de generación con 20 MW o más.

La Figura 7.8.5.7-2, muestra la aplicación de este esquema. Lo anterior, junto con ser un beneficio para esas fuentes, es un reconocimiento de una externalidad positiva debido al bajo impacto que ellas tendrán sobre los sistemas de transmisión y sobre las inversiones asociadas a su ampliación.

FIGURA 7.8.5.7-2
RANGO DE POTENCIAS PARA EXENCIÓN DE PAGO DE PEAJE



Fuente: Tello, Pablo *"Guía de Apoyo para Desarrolladores de Proyectos Minihidroeléctricos"* Centro de Energías Renovables (CER), Santiago de Chile, 2011, 160 pp

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
M° Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.8.5.8. Descripción General de Alternativas de Comercialización para un Generador a través de ERNC

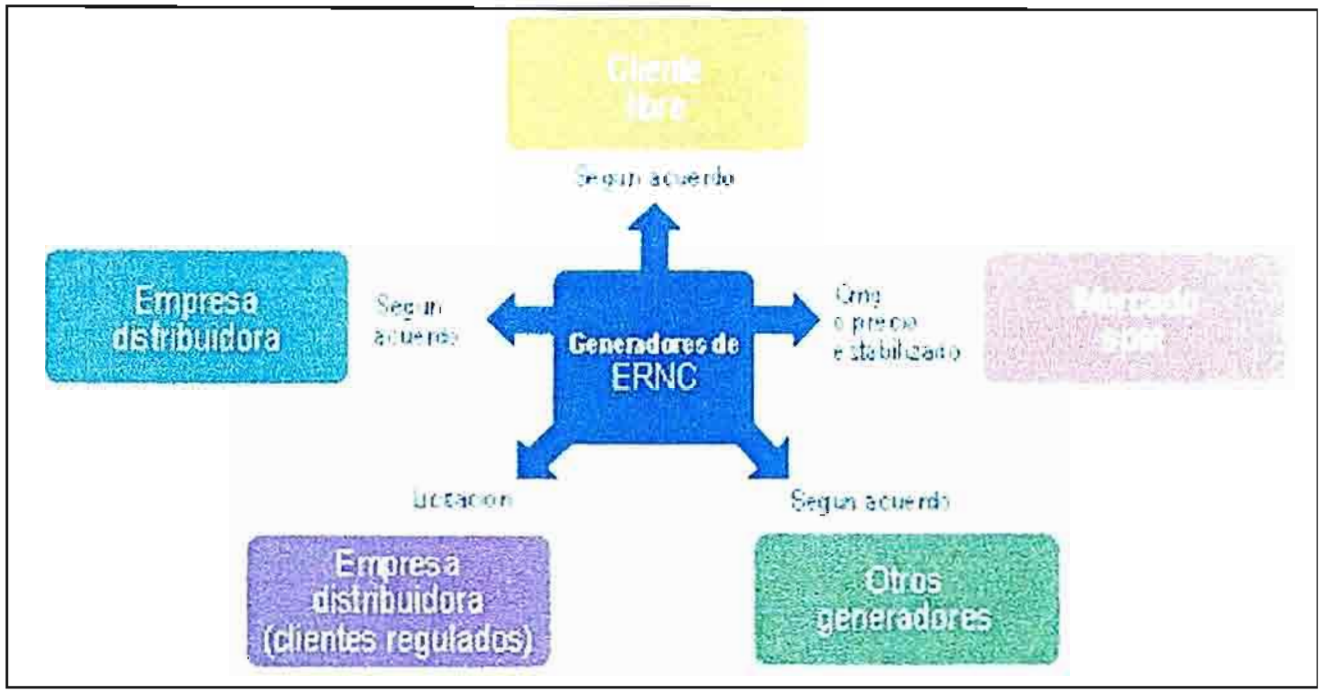
La Figura 7.8.5.8-1 muestra en términos generales las diferentes alternativas de interacción comercial que posee un ERNC. De igual manera, se muestra el tipo de acuerdo que se logra; por ejemplo, con clientes libres se establecen contratos acordados entre las partes mientras que en el caso del mercado spot, las transacciones se realizan a costo marginal o precio estabilizado.

Lo anterior da lugar a distintos modelos de negocio para proyectos ERNC en el mercado eléctrico chileno, los que consideran:

- Venta de energía y potencia, a través del CDEC, en el mercado spot a precio estabilizado (corresponde al precio de nudo de las inyecciones) para energía y al precio de nudo de la potencia a otras empresas de generación.
- Venta de energía y potencia a una empresa distribuidora que participa en una licitación, donde el precio de energía corresponde al estipulado en el contrato y el precio de potencia, al precio de nudo de la potencia vigente en el momento de la licitación.
- Venta de energía y potencia a una empresa generadora en un contrato de largo plazo a precios a convenir para energía y potencia.
- Venta de energía y potencia a un cliente libre en un contrato de largo plazo a precios a convenir para energía y potencia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 7.8.5.8-1
ESQUEMA DE ALTERNATIVAS DE COMERCIALIZACIÓN PARA ERNC



Fuente: Tello, Pablo *"Guía de Apoyo para Desarrolladores de Proyectos Minihidroeléctricos"* Centro de Energías Renovables (CER), Santiago de Chile, 2011, 160 pp.

En lo que sigue, se describen en mayor detalle distintas alternativas de modelos de negocio.

7.8.5.9. Venta de Energía en el Mercado Spot

a) *Generalidades*

Consistentemente con lo señalado en la letra b) del Acápite 7.8.5.4." Modelo de Mercado Eléctrico", el mercado spot es el mercado por defecto de todo generador que entra al sistema chileno. En este mercado, solamente tranzan energía las empresas generadoras. Sus principales características son:

- En este mercado cada generador vende o compra energía dependiendo del despacho de sus unidades generadoras y de los contratos (de suministro), sin que medie un acuerdo entre ellos.
- Solamente los generadores participan en este mercado.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Las compras y ventas de energía se realizan al costo marginal (horario) de corto plazo en la barra o nodo correspondiente donde se efectúe el retiro de energía (para los consumos) o las inyecciones de los generadores.
- El costo marginal se caracteriza por su volatilidad.
- Las compras y ventas de potencia se realizan al precio de nudo de potencia en la barra correspondiente.
- El precio de nudo de potencia es calculado semestralmente por la CNE en abril y octubre. De acuerdo a la teoría marginalista, este precio se basa en el costo de inversión y costos de operación y mantenimiento (O&M), requeridos para una unidad generadora capaz de entregar potencia al sistema en condiciones de demanda máxima.
- Los generadores venden toda su energía producida y potencia reconocida en el mercado spot en la barra o nodo de inyección.
- Los generadores compran (energía y potencia) en el mercado spot para abastecer sus contratos en la barra o nodo de suministro.

Las transacciones del mercado spot son calculadas mensualmente por los CDEC, una vez conocidos los valores reales de la operación.

b) *Venta de Potencia en el Mercado Spot*

El pago por capacidad (o potencia) corresponde a un instrumento de estímulo de la suficiencia en el mercado eléctrico, que además es coherente con el esquema de tarificación marginalista en dos partes, donde se diferencia los precios del periodo de punta de los precios en el resto del tiempo. Así, en el caso de la electricidad una parte del precio, la energía, está asociada a los costos variables de producción y es cargado por unidad de consumo. La otra parte, la capacidad o potencia, es un cargo por la disponibilidad para dar el servicio, la cual es posible mediante la instalación de capacidad.

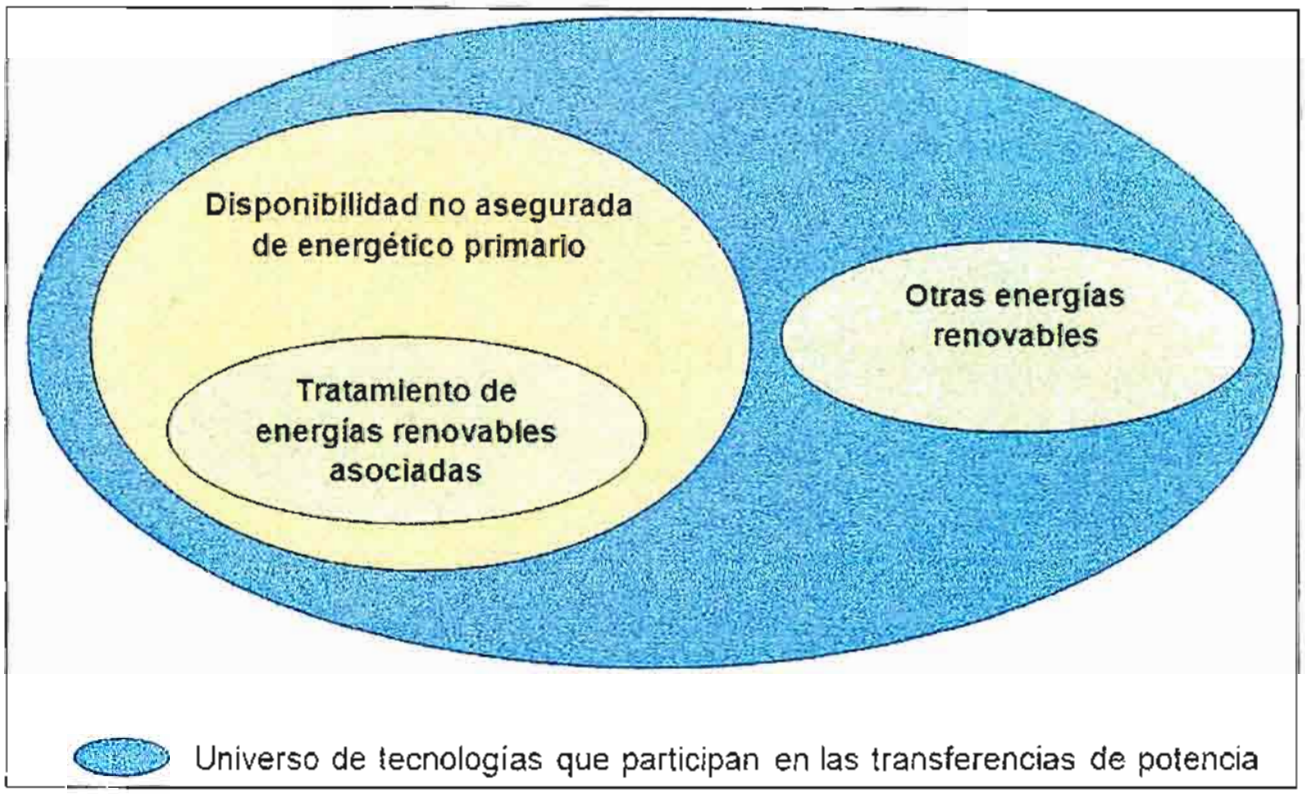
De esta manera, el cargo por capacidad incluye los costos de proveerla, lo que corresponde a los costos fijos de capital, y es asignado entre los consumidores que demandan en la punta.

El tratamiento de las energías renovables no está descontextualizado cel esquema general con que un sistema o país aborda los pagos por potencia o capacidad, con los requerimientos de suficiencia y seguridad asociados. La Figura 7.8.5.9-1 ejemplifica esta situación, donde se distinguen aquellas tecnologías o plantas de generación sin disponibilidad asegurada de su energético primario en el período de análisis, por ejemplo, la energía eólica, o bien, combustibles fósiles que muestren problemas en su suministro. Sin embargo, pueden existir fuentes renovables, como la biomasa o geotermia, que no estén afectadas por este criterio al interior de un esquema determinado.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el D.S. 62 de 2006, se reglamentan las transferencias de potencia entre las empresas generadoras con la metodología de cálculo para determinar Potencia Firme (actual) y Potencia de Suficiencia (futuro), que deben ser considerados para el cálculo de los ingresos por potencia de una unidad generadora de un proyecto ERNC.

FIGURA 7.8.5.9-1
ESQUEMA DE TRATAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES
SEGÚN PAGOS POR CAPACIDAD



Fuente: Tello, Pablo *"Guía de Apoyo para Desarrolladores de Proyectos Minihidroeléctricos"* Centro de Energías Renovables (CER), Santiago de Chile, 2011, 160 pp.

c) *Mercado de Contratos*

Como ya se mencionó anteriormente, el mercado de contratos corresponde a un mercado de tipo financiero con contratos privados pactados libremente entre las partes. En tanto un proyecto ERNC sea una empresa eléctrica, se aplica el procedimiento válido para cualquier empresa generadora del sector.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
M.ª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

d) *Cuotas de ERNC*

La exigencia de cuotas de generación de ERNC definidas en la Ley 20.257 se traduce en la posibilidad de comercializar, por parte de cualquier empresa eléctrica que exceda su obligación de inyecciones de energía renovable no convencional, el traspaso de sus excedentes a otra empresa eléctrica. Este traspaso puede comercializarse en forma bilateral a precios libremente pactados e independientemente de las ventas de energía.

7.8.5.10. Alternativas de Comercialización para un Generador a Través de ERNC

a) *Alternativa 1: Venta de Energía y Potencia en el Mercado Spot*

Esta alternativa hace referencia a que el generador ERNC sólo participa en las transferencias de energía y potencia del mercado spot. Esto significa que participará de un mercado cerrado sólo para los generadores, y sus inyecciones de energía se valorarán a costo marginal, mientras que su potencia será valorada a precio de nudo de potencia.

Para el caso de las ventas de energía, el CDEC mensualmente realizará un balance en el que cuantificará la energía inyectada por el generador al sistema y la valorará a costo marginal horario calculado para el generador ERNC.

El costo marginal horario del que se hace mención es calculado por el CDEC para toda la red de transmisión y sub-transmisión. En el caso de que el generador se encuentre operando en un sistema de distribución, es decir, se trate de un PMGD, el costo marginal de su inyección se valorará de acuerdo a lo establecido en el D.S. 244. En este caso, el D.S. 244 plantea que las inyecciones de un PMGD se refieren al lado de alta tensión, de la subestación primaria más cercana.

Es importante mencionar que todos aquellos medios de generación con potencia inferior a 9 MW (PMGD) pueden optar por un régimen estabilizado. Esto hace referencia a que en vez de cuantificar sus inyecciones a costo marginal, el CDEC las valora a un precio que presente menor variación, en este caso el precio estabilizado corresponde al precio de nudo de las inyecciones de la energía. Cabe señalar que el precio de nudo de inyección no coincide necesariamente con el precio de nudo aplicado en los consumos.

Ambos precios deben ser publicados en los decretos tarifarios elaborados semestralmente por la CNE. El régimen estabilizado, así como las ventas a costo marginal, tienen un tiempo de permanencia mínima y corresponde a 4 años. Si se desea cambiar de régimen, se debe avisar al CDEC con una antelación de 12 meses.

Para finalizar, en el caso de las transferencias de potencia (intercambios), éstas se realizan a precio de nudo de la potencia. Los precios de nudo de la potencia son determinados por la CNE cada seis meses y solamente para el sistema de transmisión troncal. Si el generador ERNC se encuentra en sub-transmisión o distribución, la determinación del precio de nudo aplicable se realiza mediante la aplicación de factores multiplicadores al precio de nudo del sistema troncal más cercano, los que consideran el efecto de las pérdidas óhmicas en el sistema. Estos multiplicadores son fijados en el decreto de fijación de precios de nudo.

Cabe señalar que en esta alternativa de mercado sólo se transa la energía y potencia que puede producir el medio de generación y no existe obligación de tener un nivel de producción preestablecido.

b) ***Alternativa 2: Combinación entre Mercado Spot y Contrato con un Cliente Libre***

En este caso, la participación del generador ERNC no sólo está compuesta por sus ventas al mercado spot, sino que también tiene vigente un contrato con un cliente libre. La operación del mercado, en este caso, es similar al anterior puesto que sus ventas al mercado spot seguirán valorándose de igual manera. Sin embargo, al acordar un contrato con un cliente libre se establece una obligación de índole financiera al determinar un precio de venta por la energía suministrada con el cliente libre.

Una vez que el generador declara un contrato, éste es considerado por el CDEC y le será incluido en su respectivo balance mensual, en el cual se le descontará la energía consumida por el cliente libre multiplicada por el costo marginal calculado para el consumo. Así, en el caso de que el generador ERNC no cuente con la energía suficiente para dar suministro al consumo, éste igualmente será suministrado por otros generadores, lo que da lugar a transferencias en el mercado spot entre los generadores.

Es importante notar que de todas formas el generador contará con un ingreso fijo correspondiente al precio de venta acordado con el cliente libre multiplicado por el consumo de éste.

c) ***Alternativa 3: Combinación entre Mercado Spot y Mercado de Contratos con Clientes Regulados***

De manera similar a la alternativa anterior, esta alternativa se encuentra compuesta por la participación en el mercado spot (descrita con anterioridad) y contrato con clientes regulados. En realidad, esto hace referencia al establecimiento de un contrato con una empresa distribuidora, como representante de clientes regulados.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Los contratos de suministro con empresas distribuidoras son fijados mediante licitaciones públicas en las que se realiza una subasta, en la cual la distribuidora presenta diferentes bloques de energía para suministro. A partir del año 2010, los precios resultantes de las licitaciones definen los precios de los clientes regulados. Los generadores, a su vez, presentaron ofertas por los diferentes bloques y se asignó a la mejor oferta. Las subastas constaron de cuatro rondas, al cabo de éstas, se cerraron los acuerdos y se asignaron los contratos por los bloques adjudicados al generador correspondiente. El proceso de licitación se llevó a cabo por las empresas distribuidoras y fue auditado por la CNE.

De manera análoga a las dos alternativas anteriores, la operación del mercado spot es similar en este caso.

d) ***Alternativa 4: Contrato Directo con Empresa de Generación***

Un proyecto ERNC puede suscribir un contrato con una empresa de generación que participe en el mercado mayorista (transferencias de energía y potencia en un contrato de largo plazo). En esta modalidad, la empresa de generación ERNC pacta en forma bilateral los precios de venta de energía y de potencia, y las características de la producción con la empresa de generación, y ésta última incorpora estos productos en su oferta de comercialización.

e) ***Alternativa 5: Fuera de Mercado Mayorista (Contrato Directo con Empresa Distribuidora)***

El marco normativo permite la operación de unidades de generación eléctrica menores a 9 MW en redes de media tensión en sistemas de distribución. Este tipo de generación se coordina, y establece relaciones contractuales directamente con la empresa concesionaria de distribución. A su vez, la empresa distribuidora se mantiene como responsable de la calidad de suministro y de servicio del sistema. En este esquema, usualmente aplicado para control de los consumos en horas de punta de la empresa de distribución, la empresa de generación ERNC pacta en forma bilateral los precios de venta de energía y potencia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CAPÍTULO 8

INTERFERENCIAS Y EXPROPIACIONES

8. INTERFERENCIAS Y EXPROPIACIONES

8.1. GENERALIDADES

En este capítulo se presentan las interferencias identificadas, y se analizan las expropiaciones necesarias para materializar el proyecto.

8.2. INTERFERENCIAS

8.2.1. Descripción

El proyecto contempla tres interferencias para el trazado seleccionado, 2 interferencias existentes con caminos rurales y una nueva interferencia correspondiente al atravieso de la Ruta E-615, también llamada Ruta Salesianos.

En el Cuadro 8.2.1-1 se presentan las coordenadas de las interferencias antes mencionadas, y en la Figura 8.2.1-1 se presenta una imagen con su ubicación.

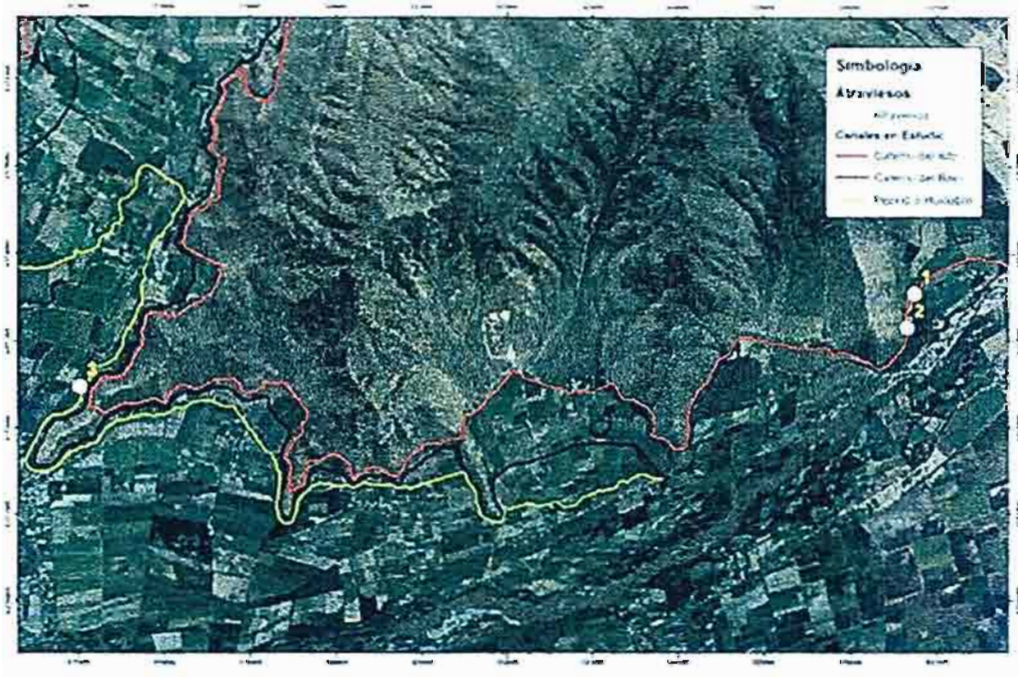
CUADRO 8.2.1-1
IDENTIFICACIÓN DE INTERFERENCIAS

Nº	Coordenadas UTM WGS84		Descripción Situación Actual
	Norte	Este	
1	6.373.546	326.740	Puente camino rural en arco de hormigón. Posee algunas rocas como barandas.
2	6.373.156	326.656	Puente de camino rural de rieles con asfalto y mampostería en sus estribos. Este camino es transitado porque existe una mina de caliza.
3	6.372.470	317.019	Inexistente, pero se debe proyectar atravieso de Ruta E-615.

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arraulngenieria.cl

FIGURA 8.2.1-1
IMAGEN DE PLANTA DE UBICACIÓN DE INTERFERENCIAS



8.2.2. Atravieso de Rutas

Se debe construir el atravieso de la Ruta E-615 (Salesianos).

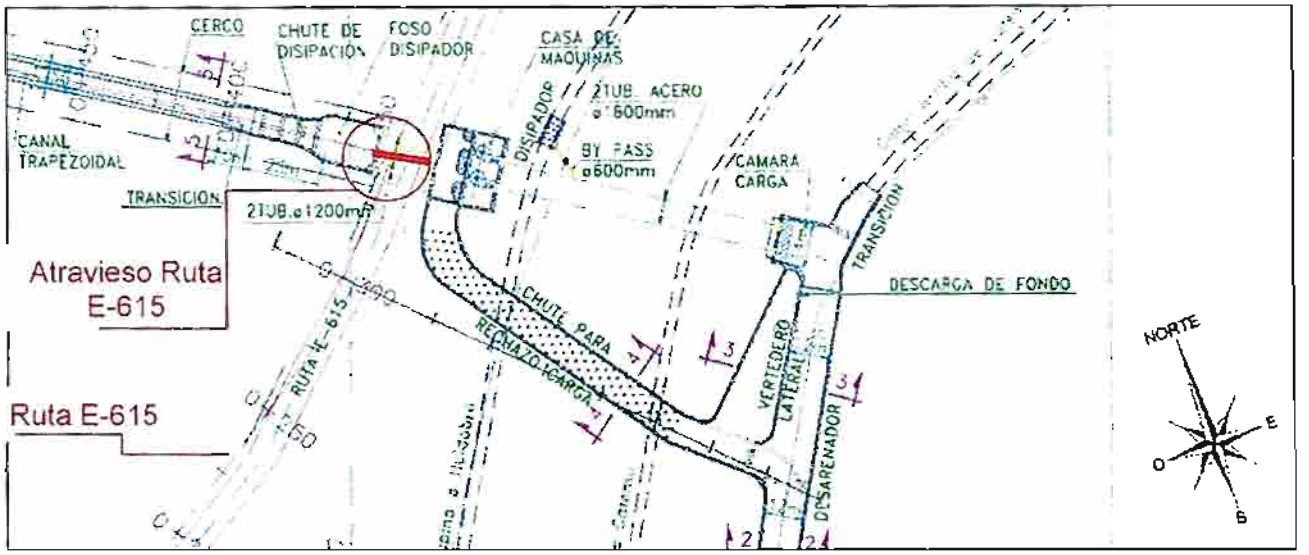
Este atravieso está ubicado en el sector de la MCH y tiene por finalidad permitir el paso de las aguas desde la Casa de Máquinas hacia el pozo de disipación, que se encuentra al otro lado de la ruta.

Para efectos de prediseño se considera que la metodología constructiva consiste en la utilización del sistema Martinete Neumático, con lo cual se evita la rotura de la carpeta asfáltica.

En la Figura 8.2.2-1 se presenta una imagen de planta del lugar donde se proyecta el atravieso, y en el Cuadro 8.2.2-1 se presentan las características principales.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
M^ Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

FIGURA 8.2.2-1
ATRAVIESO DE RUTA E-615



Fuente: Elaboración propia

CUADRO 8.2.2-1
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES ATRAVIESO DE RUTA E-615

RUTA	NORTE	ESTE	Longitud de Atravieso (m)	Diámetro de Tubería (mm)	Profundidad a la Clave (m)
E-615	6.372.470	317.019	19	2 tub DN 1200	1,2

Fuente: Elaboración propia

8.3. EXPROPIACIONES

A continuación se describen en mayor detalle aquellos aspectos correspondientes a la tenencia de la tierra en las propiedades factibles de ser expropiadas ante una eventual construcción de la obra. La zona de expropiación en su totalidad está compuesta por:

a. **Zona de Bocatoma**. Esta zona corresponde a aquella donde quedara emplazada la nueva obra de captación del canal. Se ubica dentro de la propiedad de los mismos canalistas.

b. **Canal Unificado tramo Km. 0,000 – 15,800**. Corresponde a una franja de 20 m de ancho aproximadamente corresponde a las modificaciones proyectadas al canal.

c. **Canal Unificado tramo Km.15,800 – 17,619.** Este sector se proyecta un ancho promedio de 10 m, este tramo corresponde al abovedamiento del canal. Dicho abovedamiento se realizará con una estructura rectangular doble cajón de H.A.

d. **Mini central**. El proyecto contempla una mini central hidroeléctrica a ubicar en el Km 16,05 del Canal Unificado (a la salida del Túnel 2). La cual descargará las aguas desde una cámara de carga ubicada en el Canal Unificado hasta un estanque de estabilización ubicado en el plano, al costado oriente de la ruta Salesianos, en una cota 8 m menor a la cota del Canal Pepino. También contempla un canal de restitución desde la cámara de estabilización hasta el Estero Catemu Con el objeto de restituir las aguas generadas que no se utilizan para riego.

Se presenta en Cuadro 8.3-1 el listado de propiedades que se verán afectados por expropiaciones. Donde se incluye nombre del propietario según SII, Nº de Rol, superficie a expropiar, superficie total del predio, esta información se ha plasmado en los Planos de expropiación EXP-01, EXP-02, EXP-03, EXP-04 y EXP-05.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 8.3-1
LISTADO DE PROPIEDADES

LOTE	Nº ROL DE AVALUO SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	NOMBRE Y DIRECCIÓN DE LA PROPIEDAD	COMUNA	KILOMETRAJE INICIO	KILOMETRAJE TERMINO	ANCHO FAJA EXPROPIADA	SUPERFICIE TOTAL (m²)	SUPERFICIE TOT PREDIO (ha)	SUPERFICIE DE RIEGO (ha)
1	1180-3	ASOC CANAL ARRIBA CATEMU	ASOC CANAL ARRIBA CATEMU	SITIO BOCA TOM	SAN FELIPE	0	0,163	23,12	3769	2,85	1,12
2	1180-95	QUEBRADA REDONDA S A	QUEBRADA REDONDA S A	PC 11 PROY LA REDONDA	SAN FELIPE	0,163	0,538	19,85	7445	13,59	9,33
3	1180-86	QUEBRADA REDONDA S A	QUEBRADA REDONDA S A	PC 2 PROY LA REDONDA	SAN FELIPE	0,538	1,290	23,36	17569	7,57	6,98
4	1180-85	QUEBRADA REDONDA S A	QUEBRADA REDONDA S A	LOTE 1 PARCELA N 1 LA REDONDA	SAN FELIPE	1,290	2,290	14,93	14930	26,87	9,80
5	1180-123	QUEBRADA REDONDA S A	QUEBRADA REDONDA S A	LT 3 DE PC 1 PROY LA REDONDA	SAN FELIPE	1,367	1,646	7,28	2030	6,97	5,19
6	1180-2	CIA DE SEGUROS DE VIDA CONSORCIO	CIA DE SEGUROS DE VIDA CONSORCIO	LOS AGUSTINOS	SAN FELIPE	1,680	2,290	10,77	6567	1.969 41	0,01
7	67-8	JORGE SCHMIDT Y COMPANIA LIMITAD	JORGE SCHMIDT Y COMPANIA LIMITAD	RES STA ISABEL Y REINOSO	CATEMU	2,290	2,963	16,73	11259	721,67	43,99
8	67-21	SUC. JOSE VEGA RIO	SUCESION JOSE VEGA RIO	PC 3 PROY EL CARMEN	CATEMU	2,290	3,226	8,76	8203	10,90	9,84
9	67-28	PERALTA MOISES DEL CARMEN	MOISES DEL CARMEN PERALTA	ST 1 PROY EL CARMEN	CATEMU	2,963	3,034	5,32	378	0,40	0,26
10	67-20	SUC. JOSE VEGA RIO	SUCESION JOSE VEGA RIO	PC 2 EL CARMEN	CATEMU	3,226	3,457	17,86	4125	7,21	6,61
11	67-29	SAG	SAG	EL CARMEN ST	CATEMU	3,226	3,314	4,00	352	0,84	0,49
12	67-30	MOYA ESTAY JUAN CARLOS	JUAN CARLOS MOYA ESTAY	ST 5 EL CARMEN	CATEMU	3,314	3,438	3,95	490	0,75	0,67
13	67-19	NO EXISTE PROPIEDAD ASOCIADA	-	-	CATEMU	3,457	3,572	17,66	2031	3,58	2,76
14	67-31	SAG	SAG	EL CARMEN ST	CATEMU	3,438	3,546	4,05	437	0,86	0,69
15	67-33	LOPEZ AREVALO MERCEDES RAQUEL	MERCEDES LOPEZ AREVALO	EL CARMEN ST 12	CATEMU	3,572	3,636	16,77	1073	0,58	0,41
16	67-32	SUC. OLIVARES MATURANA PEDRO ENRIQU	SUCESION PEDRO OLIVARES	ST 7 PROY EL CARMEN	CATEMU	3,546	3,637	3,99	363	0,62	0,52
17	SR		-	-	CATEMU	3,637	4,063	11,45	4877	3,94	1,63
18	67-6	JORGE SCHMIDT Y COMPANIA LIMITAD	JORGE SCHMIDT Y COMPANIA LIMITAD	RES STA ISABEL Y REINOSO	CATEMU	3,796	5,087	18,60	24012	721,67	43,99
19	67-5	LYON CHAIGNEAU MARIA ISABEL	MARIA LYON CHAIGNEAU	SANTA ISABEL	CATEMU	5,087	7,384	19,95	45829	637,00	80,00
20	67-124	BAHAMONDES BUSTAMANTE JOSE ERN	JOSE BAHAMONDES B	PC 81 A ST 100 PROY SAN JOSE	CATEMU	7,384	7,451	13,04	874	6,87	5,21
21	67-4	NO EXISTE PROPIEDAD ASOCIADA	-	-	CATEMU	7,384	8,032	16,21	10502	414,89	0,01
22	67-125	LOBOS ARAYA ANA DEL CARMEN	ANA LOBOS ARAYA	SN JOSE PC 82	CATEMU	7,597	8,032	4,77	2073	6,02	5,11
23	67-3	COUSIÑO VERDEJO GONZALO ANDRES Y OT	GONZALO COUSIÑO VERDEJO	FUNDO REINOSO	CATEMU	8,032	8,060	4,10	197	486,00	22,00
24	67-127	GALLARDO GALLARDO RAUL	RAUL GALLARDO GALLARDO	PC 84 A PROY SAN JOSE	CATEMU	8,032	8,641	42,60	25945	10,61	7,80
25	67-3	COUSIÑO VERDEJO GONZALO ANDRES Y OT	GONZALO COUSIÑO VERDEJO	FUNDO REINOSO	CATEMU	8,641	10,118	11,48	16951	486,00	22,00
26	67-95	PARAS HERRERA ELEUTERIO	ELEUTERIO AREVALO A.	PC 52 LT A PROY SN JOSE	CATEMU	9,281	9,475	18,62	3612	10,06	7,22
27	67-94	AREVALO ARREDONDO HECTOR Y OTR	HECTOR AREVALO ARREDONDO	PC 51 LT B ST 47 SAN JOSE	CATEMU	9,475	9,875	18,50	7400	13,82	7,89
28	67-92	ARANCIBIA BEIZA JULIO ALBERTO	JULIO ARANCIBIA B.	PC 49 PROY SAN JOSE	CATEMU	9,875	10,354	18,49	8818	8,48	7,31
29	SR		-			10,118	10,407	2,95	852	62,70	1,39
30	67-67	PARAS HERRERA ROBERTO ANTONIO S Y O	ROBERTO PARAS HERRERA	PC 24 P ST 8 A PROY SAN JOSE	CATEMU	10,352	10,645	22,49	6591	9,21	5,15
31	67-44	SORRICUETA ZAMORANO LUIS ALBERT	LUIS SORRICUETA ZAMORANO	PC 1 LT A PROY SAN JOSE	CATEMU	10,645	11,251	14,34	8691	13,42	9,26
32	SR		-			10,645	11,895	15,01	18767	62,70	1,39
33	67-240	INMOBILIARIA CATEMU LIMITADA	INMOBILIARIA CATEMU LIMITADA	RC 1 LT B 1 STA MARGARITA	CATEMU	11,895	15,065	19,78	62697	107,00	34,00
34	52-47	RIESCO ZANARTU GERMAN Y OT	GERMAN RIESCO ZAÑARTU	PC 1 SAN CARLOS	CATEMU	15,065	15,817	20,86	15687	29,47	10,00
35	52-9	SOC AGRICOLA SAN CARLOS DE CATEMU L	SOC AGRICOLA SAN CARLOS DE CATEMU L	LT 1 HJ NORTE FDO SN CARLOS	CATEMU	15,817	15,884	21,34	1430	30,00	28,00
36	BC		BIEN COMUN			15,884	16,004	2,67	321	10,22	0,00
37	SR		-			16,004	16,585	10,46	6076	7,37	0,00
38	62-46	AGUERO VERGARA HERNAN Y OTROS	HERNAN AGUERO VERGARA	LAS VARILLAS BCG LOTE D	CATEMU	16,585	17,175	10,46	6173	26,12	0,00
39	62-6	ESC AGRIC SALESIANA FUND HUIDO	ESC AGRIC SALESIANA FUND HUIDO	LAS VARILLAS B	CATEMU	17,175	17,619	9,37	4161	200,00	20,00
40	1180-3	ASOC CANAL ARRIBA CATEMU	ASOC CANAL ARRIBA CATEMU	SITIO BOCA TOM	SAN FELIPE	-	-	-	466	2,85	1,12
41	SR	B.N.U.P.							897		

CUADRO DE EXPROPIACIONES MINICENTRAL

LOTE	Nº ROL DE AVALUO SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE PROPIETARIO APARENTE	NOMBRE Y DIRECCIÓN DE LA PROPIEDAD	COMUNA	KILOMETRAJE INICIO	KILOMETRAJE TERMINO	ANCHO FAJA EXPROPIADA	SUPERFICIE TOTAL (m²)	SUPERFICIE TOT PREDIO (ha)	SUPERFICIE DE RIEGO (ha)
42	SR		-			-	-	-	9455		
43	SR		-			-	-	-	3300	7,37	0,00
44	62-2	COMUNIDAD SALVADOR ELIAS SIMGLAN	COMUNIDAD SALVADOR ELIAS SIMGLAN	HJ TRES LAS VARILLAS	CATEMU	0,348	0,674	10,32	3384	47,31	18,31
45	52-20	ROJAS LABRA JUAN MIGUEL Y OTROS	JUAN ROJAS LABRA	LOA CORRALES PARCELA N 1	CATEMU	0,348	0,674	12,10	3945	5,64	5,11
46	52-22	MATURANA SOLIS ISAIAS DEL CARMEN	ISAIAS MATURANA SOLIS	LOS CORRALES PARCELA 3 ST	CATEMU	0,674	0,925	10,69	2733	5,84	5,51
47	52-21	MATURANA MATURANA CARLOS	CARLOS MATURANA M.	LOS CORRALES PARCELA N 2	CATEMU	0,674	0,925	12,20	3061	5,22	4,80
48	52-24	BERNAL ZAMORA JUAN	JUAN BERNAL ZAMORA	PARCELA 5 LOS CORRALES DE ACTEMU	CATEMU	0,925	1,093	9,82	1650	5,51	5,18
49	52-25	ROMERO QUIROZ FRANCISCO ANTONI	FRANCISCO ROMERO QUIROZ	PC 6 PROY LOS CORRALES	CATEMU	0,925	1,185	13,26	3448	5,22	4,80
50	52-30	BERNAL TORRES RICARDO GASTON	RICARDO BERNAL TORRES	PC 11 LT B PROY LOS CORRALES	CATEMU	1,093	1,374	9,98	2805	5,39	2,42
51	52-28	IBARRA CONTRERAS OSCAR RENE	OSCAR IBARRA CONTRERAS	LOS CORRALES PARCELA N 9 CATEMU	CATEMU	1,185	1,298	12,90	1458	5,01	4,85
52	52-34	CORDOVA ALVAREZ EMILIO	EMILIO CORDOVA	PC 15 PROY LOS CORRALES	CATEMU	1,374	1,641	17,84	4762	5,55	5,18
53	52-29	BERNAL ZAMORA JUAN GASTON	JUAN BERNAL ZAMORA	PC 10 LOS CORRALES	CATEMU	1,298	1,641	7,36	2526	5,03	4,56

Fuente: Elaboración propia

La determinación del precio de los terrenos a expropiar se determinó a partir de la base de datos disponible en ODEPA[1], la que contiene información de 23 casos de compra y venta de terrenos en la comuna de Catemu en el periodo 2001-2009 (21 años).

Los valores promedio anuales por hectárea fueron ordenados de menor a mayor y divididos en terciles (Cuadro 8.3-2). Debido a que el proyecto afecta principalmente terrenos con actividad productiva incipiente se decidió utilizar el precio del tercil menor, correspondiente a $6.049.867.

CUADRO 8.3-2
LISTADO DE PROPIEDADES

Nº Orden	Precio Terreno ($/ha)	
	Promedio anual ODEPA	Terciles
1	2.435.382	6.049.867
2	5.616.660	
3	5.700.682	
4	5.853.665	
5	7.257.014	
6	7.673.702	
7	7.811.960	
8	8.788.809	12.592.594
9	9.467.612	
10	11.551.174	
11	12.401.987	
12	13.890.258	
13	15.256.025	
14	16.792.293	
15	17.448.001	18.369.736
16	17.797.506	
17	18.455.625	
18	18.455.625	
19	18.638.036	
20	18.705.026	
21	19.088.331	

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 8.3-3 se presenta el cuadro con el área a expropiar asociada a cada una de las alternativas. En dicho cuadro también se incluye el costo de la expropiación.

[1] La base de datos de ODEPA se compone de información extraída de la Revista del Campo del periódico El Mercurio.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 8.3-3
DETALLE DE COSTOS DE EXPROPIACIONES

Detalle Obra	Total (ha)	Costo ($)
Canal Catemu Alto	36,36	219.973.164
Bocatoma	0,17	1.028.477
Minicentral	4,51	27.284.900
TOTAL	**41,04**	**248.226.027**

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

8. INTERFERENCIAS y expropiaciones 1

8.1. GENERALIDADES 1

8.2. INTERFERENCIAS 1

8.2.1. Descripción 1

8.2.2. Atravieso de Rutas 2

8.3. EXPROPIACIONES 3

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CAPÍTULO 9

PRECIOS UNITARIOS, CUBICACIONES Y PRESUPUESTOS

9. PRECIOS UNITARIOS, CUBICACIONES Y PRESUPUESTOS

9.1. GENERALIDADES

El presente capítulo tiene como objetivo presentar el presupuesto para cada una de las obras, para lo cual se incluye un análisis de precios unitarios de las distintas partidas del proyecto, y el detalle de las cubicaciones.

9.2. PRECIOS UNITARIOS

9.2.1. Generalidades

Los precios unitarios, en adelante PU, que se utilizaron para el proyecto, se prepararon a partir de información disponible de los antecedentes del estudio realizado por Electrowatt en el año 2000. Estos precios unitarios tienen como moneda base la UF del mes de Febrero de 1998, los cuales se han actualizado a la UF de 01 de Julio de 2011. Los precios que no se encontraron en la base de información disponible por Electrowatt fueron seleccionados y actualizados desde la base de datos de precios del consultor.

9.2.2. Análisis de Precios Unitarios Obras de Riego

A continuación se presentan los PU de las principales partidas de las obras de riego, actualizados y adaptados a la zona geográfica de ubicación del proyecto, ya que la construcción del proyecto es en altura, ladera de cerro y zonas con muy poca accesibilidad donde se hace necesario la construcción de caminos de acceso y mesas de trabajo, lo que conlleva a un aumento importante de estos precios.

El análisis de los precios unitarios se presenta sólo para las partidas principales, cuyo resultado en pesos chilenos se presenta en el Anexo 9-1. En el Cuadro 9.2.2-1 se presenta la lista de precios unitarios adoptados, en que dichos precios son costos directos, es decir, no incluyen gastos generales, utilidades ni tampoco IVA.

CUADRO 9.2.2-1
PRECIOS UNITARIOS OBRAS DE RIEGO

			PRECIO UNITARIO	
COD	DESCRIPCIÓN	UNID	PRIVADO	SOCIAL
001	INSTALACIÓN DE FAENAS	gl	144.200.911	141.863.128
002	ROCE	m²	386	350
003	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MÁQUINA	m³	3.129	2.418
004	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MÁQUINA C/AGOTAMIENTO	m³	6.006	4.769
005	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	25.430	21.618
006	CONFECCIÓN DE TERRAPLÉN CON MATERIAL DE EXCAVACIÓN	m³	2.331	2.134
007	CONFECCIÓN DE TERRAPLÉN CON MATERIAL DE EMPRÉSTITO	m³	4.304	3.986
008	RELLENO CON PLACA VIBRATORIA	m³	7.120	5.652
009	RELLENO CON PLACA VIBRATORIA - MATERIAL SELECCIONADO	m³	11.614	8.779

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.2.2-1
PRECIOS UNITARIOS OBRAS DE RIEGO

			PRECIO UNITARIO	
COD	DESCRIPCION	UNID	PRIVADO	SOCIAL
0010	MOLDAJES PARA HORMIGON	m²	10.371	9.891
0011	FABRICACIÓN DE HORMIGÓN	m³	7.538	6.848
0012	TRANSPORTE DE HORMIGÓN A OBRAS	m³	11.643	10.374
0013	COLOCACIÓN DEL HORMIGON OBRAS EXTERIORES	m³	27.840	18.421
0014	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	74.382	60.729
0015	HORMIGÓN H10 DE 170 kg cem/m³	m³	70.938	59.560
0016	HORMIGÓN H20 PARA CONSOLIDACION DE ENROCADO	m³	80.895	69.517
0017	HORMIGÓN H25	m³	103.042	89.389
0018	HORMIGON H30	m³	107.817	94.164
0019	H20 CON 30% BOLÓN DESPLAZADOR espesor (m) 0,35	m³	65.558	54.769
0020	H25 RADIER espesor (m) 0,15	m²	12.880	11.174
0021	H25 TALUD espesor (m) 0,15	m²	12.880	11.174
0022	MORTERO DE PEGA DE 300 kg cem/m³	m³	56.806	54.848
0023	ENFIERRADURA A 63-42H	kg	1.334	1.139
0024	DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN	m³	45.979	39.305
0025	SUB-BASE GRANULAR	m³	3.711	3.422
0026	CARPETA DE RODADO	m³	4.388	4.059
0030	MAMPOSTERÍA DE PIEDRA	m³	60.240	49.424
0031	ENROCADO DE PROTECCIÓN	m³	29.679	25.909
0032	ENROCADO CONSOLIDADO	m³	70.539	61.080
0033	GEOTEXTIL	m²	767	733
0041	CONTRAFOSOS	gl	5.445	3.480
0042	COMPUERTAS METÁLICAS - PIEZAS ESPECIALES e = 8 mm	kg	4.089	3.794
0043	PUENTES PREDIALES	un	16.209.614	13.309.651
0044	DESVÍOS DE CAMINOS	gl	5.865.907	5.865.907
0045	MANEJO DE RÍO	gl	1.738.569	1.738.569
0046	JUNTA DE CONTROL LONGITUDINAL	m³	36.078.089	27.877.263
0047	JUNTA DE CONTROL TRANSVERSAL	m³	36.078.089	27.877.263
0048	JUNTA DE DILATACIÓN	m³	36.078.089	27.877.263
0049	HORMIGÓN PROYECTADO (e = 10cm)	m²	21.810	20.990
0050	PERNOS DE ANCLAJE C/GOLILLA, C/TUERCA	un	27.246	27.213
0051	BARBACANAS	un	2.040	1.942
0052	GAVIONES	m³	30.542	28.049
0053	MARCO DE ACERO REFUERZO TÚNEL	kg	1.809	1.789

Fuente: Elaboración propia a partir Electrowatt (2000) y Base Datos Consultor

9.2.3. Precios Unitarios MCH

En este acápite se presentan los PU de las obras de minicentrales hidroeléctricas, actualizados y adaptados a la zona geográfica de ubicación del proyecto. El análisis de los precios unitarios se presenta sólo para las partidas principales, cuyo resultado en pesos chilenos se presenta en el Anexo 9-2. En Cuadro 9.2.3-1 se presenta la lista de precios unitarios adoptados, en que dichos precios son costos directos, es decir, no incluyen gastos generales, utilidades ni tampoco IVA.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.2.3-1
PRECIOS UNITARIOS MCH

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	P. UNITARIO
1	ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA CONSUMO	mes	150.000
2	ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELECTRICA	mes	400.000
3	ARMADURA A 44 - 28 H	kg	1.400
4	ARTÍCULOS DE SEGURIDAD	cu	50.000
5	BAÑOS Y DUCHAS	mes	1.500.000
6	BASE ESTABILIZADA 15 cm	ml	14.000
7	BODEGAS	gl	5.500.000
8	CÁMARA PARA VÁLVULA DE REGULACIÓN	gl	6.000.000
9	CAMBIO CONDUCTOR	km	15.000.000
10	CERCO PERIMETRAL METÁLICO EXTERIOR	m	22.000
11	CERCOS DE PROTECCIÓN	ml	20.000
12	CERTIFICACIÓN MEDIDOR Y TRANSFORMADOR	gl	600 000
13	CIERROS PERIMETRALES	ml	6 000
14	COMPUERTAS DE REGULACIÓN	c/u	5.635 000
15	COMUNICACIÓN	mes	250 000
16	CONCESIÓN DE TERRENOS PARA FABRICACIÓN, ACOPIO O MANIOBRAS	mes	3.000 000
17	CONSTRUCCIÓN MACHONES DE HA ANCLAJE MEDIANO	un	2.760 000
18	CONSTRUCCION MACHONES DE HA ANCLAJE PEQUEÑO	un	1.610 000
19	CORTE ROCA CON EXPLOSIVOS Y EXCAVACIÓN CON MAQUINARIA	m^3	8 000
20	DESCONECTADORES (CUCHILLO Y FUSIBLES)	gl	1.500 000
21	DESPEJE DEL ÁREA PARA INST.DE FAENAS	m^2	1 200
22	DESRATIZACIÓN	gl	720 000
23	DISPOSICIÓN DE AGUAS SERVIDAS	mes	85 000
24	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS Y SÓLIDOS	mes	95 000
25	EMPLANTILLADO E = 10 cm	m^2	7 500
26	ENSAYOS RADIOGRAFICOS SOLDADURAS	gl	13.684 407
27	EQUIPO COMPACTO DE MEDIDA (ECM)	c/u	2.132 815
28	EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS CON 2 TURBINAS FRANCIS DE 4,15 MW	c/u	1.260.000 000
29	EXCAVACIÓN CON MÁQUINA SUELO COMÚN	m^3	2 300
30	EXCAVACIÓN CON MÁQUINA SUELO COMÚN Y POSTERIOR RELLENO Y COMPACTADO	m^3	7 300
31	EXCAVACIÓN CON MEDIOS MECÁNICOS Y RETIRO A BOTADERO (2 KM) (8 m^3/ml)	ml	40 000
32	EXCAVACIÓN EN SUELO NATURAL Y RETIRO A BOTADERO	m^3	4 500
33	EXCAVACIÓN FUNDACIONES	m^3	2 300
34	HORMIGÓN H-25	m^3	95.000
35	INSTALACIÓN ELÉCTRICAS	gl	14.000.000
36	INSTALACIÓN TELEFÓNICA E INTERNET	gl	1.700.000
37	INVERSICIÓN CONEXIÓN	gl	20.000.000
38	LETRERO DE OBRA	un	400.000
39	LÍNEA NUEVA EN 12 kV (POSTES, ESTRUCTURAS, CABLES, DESCONECTADORES, ETC.)	km	20.000.000
40	LOCKERS Y REFRIGERADOR	gl	720.000
41	MALLA A TIERRA (INCLUIDO ESTUDIO Y MEDICIÓN)	gl	5.500.000
42	MEDIDOR	c/u	4.000.000
43	MOLDAJES	m^2	15.000
44	MONTAJE TURBINAS- GENERADOR, VOLANTE Y ALINEAMIENTO	gl	300
45	MONTAJE Y SOLDADURA	kg	800
46	OFICINAS	mes	680.000
47	PISOS SEGÚN ARQUITECTURA	m^2	15.000
48	PLOTEO DE PLANOS PARA CONSTRUCCIÓN	gl	800.000
49	PORTÓN METÁLICO DE CORREDERA	m^2	180.000
50	PREPARACIÓN DEL TERRENO	gl	2.500.000

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.2.3-1
PRECIOS UNITARIOS MCH

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	P. UNITARIO
51	PROTECCIÓN RÍO CON ENROCADO	m³	45.000
52	PUENTE GRÚA CAPACIDAD 20 t	gl	45.000.000
53	PUERTAS	m²	80.000
54	RADIER PARA MANIOBRAS, ACOPIO Y FABRICACIÓN.	m²	6.700
55	RADIER PARA VESTIDOR Y COMEDOR	m³	120.000
56	RECONECTADOR NOJA PAWER	c/u	6.565.500
57	REJAS FINAS	gl	3.000.000
58	RELÉ DE DESACOPLO	c/u	7.829.000
59	RELLENOS COMPACTADOS	m³	5.500
60	SOLERAS LATERALES	ml	15.000
61	SUMINISTRO TUBERÍA DE ACERO PARA CRUCE DE CAMINO	kg	1.400
62	SUMINISTRO TUBERÍA DE ACERO PARA RESTITUCIÓN AL CANAL PEPINO	kg	1.400
63	SUMINISTRO TUBERÍAS DE PRESIÓN DE ACERO	kg	1.400
64	TABIQUES DIVISORIOS METALCON	m²	15.000
65	TABLEROS DE FUERZA Y ALUMBRADO SERVICIOS	gl	2.000.000
66	TRANSFORMADOR ELEVADOR 0,4/12 kVA	c/u	45.000.000
67	TRANSFORMADOR MONOFÁSICO	c/u	350.000
68	TRANSPORTE INTERNO	kg	300
69	VÁLVULA REGULACIÓN RESTITUCIÓN PEPINO	c/u	4.500.000
70	VÁLVULAS DE COMPUERTA	c/u	6.000.000
71	VENTANAS	m²	60.000
72	VENTILACIÓN	gl	1.000.000
73	VESTUARIO Y COMEDOR	m²	100.000
74	VIGAS DE REFUERZO PUENTE GRÚA	kg	2.000
75	ZARPA EN TIERRA	ml	2.300

Fuente: Elaboración propia en base a datos del consultor.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

9.3. CUBICACIÓN Y PRESUPUESTO OBRAS DE RIEGO

En este acápite se presenta en los Cuadros 9.3-1 y 9.3-2 el presupuesto a precios privados y sociales de las obras de riego del proyecto. Este presupuesto contempla el 35% del costo directo del proyecto como gastos generales, utilidades de construcción de obras civiles e imprevistos. No se incluyen IVA. El presupuesto con su información de respaldo, se encuentra en el Anexo 9-1 del informe.

CUADRO 9.3-1
PRESUPUESTO OBRAS DE RIEGO A PRECIOS PRIVADOS

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL ($)	TOTAL ITEM ($)
1.	AMPLIACIÓN TUNEL 1					149.695.203
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	2.284	25.430	58.082.120	
	HORMIGÓN H25	m³	88	103.042	9.067.688	
	HORMIGON PROYECTADO (e = 10cm)	m²	1.964	21.810	42.835.122	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	4.421	1.334	5.895.905	
	MARCO DE ACERO REFUERZO TUNEL	kg	15.915	1.809	28.791.301	
	PERNOS DE ANCLAJE C/GOLILLA, C/TUERCA	un.	108	27.246	2.942.566	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	105	10.371	1.088.993	
	BARBACANAS	un.	486	2.040	991.507	
2.	AMPLIACIÓN TUNEL 2					227.126.706
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	4.036	25.430	102 635 480	
	HORMIGÓN H25	m³	123	103.042	12.674.155	
	HORMIGON PROYECTADO (e = 10cm)	m²	2.686	21.810	58.582.045	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	6.066	1.334	8.089.700	
	MARCO DE ACERO REFUERZO TUNEL	kg	21.717	1.809	39.287.508	
	PERNOS DE ANCLAJE C/GOLILLA, C/TUERCA	un.	131	27.246	3.569.223	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	105	10.371	1.088 993	
	BARBACANAS	un.	588	2.040	1.199.601	
3.	REVESTIMIENTO CANAL UNIFICADO ARRIBA DE CATEMU (KM 0,000 - 13,700) - SECCION ABIERTA					6.753.014.309
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	5.769	74.382	429.108.479	
	HORMIGÓN H25	m³	12.602	103.042	1.298.534.181	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	0	10.371	0	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	189.030	1.334	252.092.964	
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m³	275.568	3.129	862.234.341	
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	118.101	25.430	3.003.296.456	
	RELLENO CON PLACA VIBRATORIA	m³	3.315	7.120	23.603.780	
	MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m³	2.100	60.240	126.504.841	
	JUNTA DE CONTROL LONGITUDINAL	m³	3	36.078.089	108.234.267	
	JUNTA DE CONTROL TRANSVERSAL	m³	7	36 078.089	252.546.622	
	JUNTA DE DILATACION	m³	11	36.078.089	396.858.978	
3,1	REVESTIMIENTO CANAL UNIFICADO ARRIBA DE CATEMU (KM 13,700 - 17,615) - ABOVEDADO					2.389.550.736
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	711,3	74.382	52.907.759	
	HORMIGÓN H25	m³	11426,9	103.042	1.177.449.630	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN	m²	38301,6	10.371	397.239.930	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	571.345	1.334	761.953.417	
4.	ABOVEDAMIENTO CANAL BAJO CATEMU					605.398.148
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	204	74.382	15.173.883	
	HORMIGÓN H25	m³	2.312	103.042	238.232.902	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	8.165	10.371	84.680.133	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	115.600	1.334	154.165.723	
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m³	1.811	3.129	5.667.520	
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	4.226	25.430	107.477.988	
5.	BOCATOMA					222.823.575
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	14	74.382	1.066.263	
	HORMIGÓN H25	m³	183	103.042	18.830.085	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	18.274	10.371	189.528.425	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	664	1.334	885.999	
	ACERO - PIEZAS ESPECIALES e = 8 mm	kg	539	4.089	2.204.489	
	MECANISMO ESPECIAL DE LEVANTE	Uni	6	700.000	4.200.000	
	GAVIONES MANGA DE ADUCCION 100 m	m³	200	30.542	6.108.314	
6.	DESCARGAS SUPERFICIALES					33.946 581
	MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m³	4	60.240	240.962	
	GAVIONES	m³	536	30.542	16.370.280	
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m³	466	3.129	1.458.084	

CUADRO 9.3-1
PRESUPUESTO OBRAS DE RIEGO A PRECIOS PRIVADOS

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL ($)	TOTAL ITEM ($)
	EXCAVACION EN ROCA	m³	200	25.430	5.086.000	
	HORMIGÓN H25	m³	39	103.042	4.018.635	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	2.722	1.334	3.630.096	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	303	10.371	3.142.524	
7.	ENTREGAS PREDIALES					15.497.825
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m²	21	74.382	1.562.017	
	HORMIGÓN H25	m³	113	103.042	11.643.736	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	221	10.371	2.292.072	
8.	OBRAS DE CRUCE DE CAMINO					58.709.117
	HORMIGÓN H25	m³	416	103.042	42.865.436	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	1.092	10.371	11.325.532	
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	22	74.382	1.636.399	
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m³	921	3.129	2.881.750	
9.	CAMARAS DE INSPECCION					98.475.687
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	18	74.382	1.357.467	
	HORMIGÓN H25	m³	457	103.042	47.066.712	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	1.696	10.371	17.594.608	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	22.839	1.334	30.457.899	
10.	DESCARGA KM 5,61					22.318.156
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	15	74.382	1.115.727	
	HORMIGÓN H25	m³	92	103.042	9.479.856	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	4.585	1.334	6.114.618	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	249	10.371	2.582.470	
	MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m³	35	60.240	2.108.414	
	ACERO - PIEZAS ESPECIALES e = 8 mm	kg	102	4.089	417.071	
	MECANISMO DE LEVANTE ESTANDAR	uni	2	250.000	500.000	
11.	DESCARGA KM 8,95					15.849.470
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	10	74.382	743.818	
	HORMIGÓN H25	m³	54	103.042	5.564.263	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	2.651	1.334	3.535.409	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	356	10.371	3 692.206	
	MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m³	24	60.240	1.445.770	
	ACERO - PIEZAS ESPECIALES e = 8 mm	kg	90	4.089	368.004	
	MECANISMO DE LEVANTE ESTANDAR	uni	2	250.000	500.000	
12.	ENTREGA CANALES CATEMU BAJO Y PEPINO KM 5,75					31.856.726
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m²	17	74.382	1.255.044	
	HORMIGÓN H25	m³	118	103.042	12.124.324	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	5.883	1.334	7.845.915	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	752	10.371	7.796.073	
	MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m³	30	60.240	1.807.212	
	ACERO - PIEZAS ESPECIALES e = 8 mm	kg	129	4.089	528.159	
	MECANISMO DE LEVANTE ESTANDAR	uni	2	250.000	500 000	
	TOTAL COSTOS DIRECTOS					$ 10.622.263.839
	GASTOS GENERALES Y UTILIDADES (35%)					$ 3.717.792.344
	TOTAL COSTO					$ 14.340.056.183

Nota: Referencia Valor UF $21.893, al 01/06/2011
Referencia Valor Dólar $468,15 al 01/06/2011

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 9.3-2
PRESUPUESTO OBRAS DE RIEGO A PRECIOS SOCIALES

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL ($)	TOTAL ITEM ($)
1.	AMPLIACIÓN TÚNEL 1					136.895.072
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	2.284	21 618	49.375.452	
	HORMIGÓN H25	m³	88	89.389	7.866.261	
	HORMIGON PROYECTADO (e = 10cm)	m²	1.964	20 990	41.224.480	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	4.421	1.139	5.035.169	
	MARCO DE ACERO REFUERZO TUNEL	kg	15.915	1.789	28.472.451	
	PERNOS DE ANCLAJE C/GOLILLA, C/TUERCA	un.	108	27.213	2 939 023	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	105	9.891	1.038.556	
	BARBACANAS	un.	486	1.942	943.679	
2.	AMPLIACIÓN TÚNEL 2					208.130.683
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	4.036	21.618	87.250.142	
	HORMIGÓN H25	m³	123	89.389	10.994.888	
	HORMIGON PROYECTADO (e = 10cm)	m²	2.686	20.990	56.379.304	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	6 066	1.139	6.908.694	

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.3-2
PRESUPUESTO OBRAS DE RIEGO A PRECIOS SOCIALES

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL ($)	TOTAL ITEM ($)
	MARCO DE ACERO REFUERZO TUNEL	kg	21.717	1.789	38.852.417	
	PERNOS DE ANCLAJE C/GOLILLA, C/TUERCA	un.	131	27.213	3.564.926	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	105	9.891	1.038.556	
	BARBACANAS	un.	588	1.942	1.141.736	
3.	REVESTIMIENTO CANAL UNIFICADO ARRIBA DE CATEMU (KM 0,000 - 13,700)					5.783.063.025
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	5,769	60.729	350.346.753	
	HORMIGÓN H25	m³	12.602	89.389	1.126.484.385	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	38.302	9.891	378.845.500	
	ENFIERRADURA A 63-42H	kg	0	1.139	0	
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m³	275.568	2.418	666.341.699	
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	118.101	21.618	2.553.094.152	
	RELLENO CON PLACA VIBRATORIA	m³	3.315	5.652	18.737.311	
	MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m³	2.100	49.424	103.790.703	
	JUNTA DE CONTROL LONGITUDINAL	m²	3	27.877.263	83.631.789	
	JUNTA DE CONTROL TRANSVERSAL	m³	7	27.877.263	195.140.841	
	JUNTA DE DILATACION	m³	11	27.877.263	306.649.893	
3,1	REVESTIMIENTO CANAL UNIFICADO ARRIBA DE CATEMU (KM 13,700 - 17,615) - ABOVEDADO					2.094.197.969
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	711,3	60.729	43.196.680	
	HORMIGÓN H25	m³	11.427	89.389	1.021.442.979	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN	m²	38.302	9.891	378.841.544	
	ENFIERRADURA A 63-42H	kg	571.345	1.139	650.716.767	
4.	ABOVEDAMIENTO CANAL BAJO CATEMU					527.220.930
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	204	60.729	12.388.757	
	HORMIGÓN H25	m³	2.312	89.389	206.668.140	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	8.165	9.891	80.758.126	
	ENFIERRADURA A 63-42H	kg	115.600	1.139	131.659.257	
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m³	1.811	2.418	4.379.906	
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	4.226	21.618	91.366.745	
5.	BOCATOMA					210.567.741
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	14	60.729	870.553	
	HORMIGÓN H25	m³	183	89.389	16.335.186	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	18.274	9.891	180.750.312	
	ENFIERRADURA A 63-42H	kg	664	1.139	756.653	
	ACERO - PIEZAS ESPECIALES e = 8 mm	kg	539	3.794	2.045.316	
	MECANISMO ESPECIAL DE LEVANTE	Uni	6	700.000	4.200.000	
	GAVIONES MANGA DE ADUCCION 100 m	m³	200	28.049	5.609.721	
6.	DESCARGAS SUPERFICIALES					30.265.467
	MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m³	4	49.424	197.697	
	GAVIONES	m³	536	28.049	15.034.053	
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m³	466	2.418	1.126.819	
	EXCAVACIÓN EN ROCA	m³	200	21.618	4.323.595	
	HORMIGÓN H25	m³	39	89.389	3.486.164	
	ENFIERRADURA A 63-42H	kg	2.722	1.139	3.100.143	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	303	9.891	2.996.976	
7.	ENTREGAS PREDIALES					13.562.221
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	21	60.729	1.275.313	
	HORMIGÓN H25	m³	113	89.389	10.100.995	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	221	9.891	2.185.913	
8.	OBRAS DE CRUCE DE CAMINO					51.550.029
	HORMIGÓN H25	m³	416	89.389	37.185.963	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	1.092	9.891	10.800.984	
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	22	60.729	1.336.042	
	EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN A MAQUINA	m³	921	2.418	2.227.040	
9.	CAMARAS DE INSPECCION					84.729.989
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	18	60.729	1.108.308	
	HORMIGÓN H25	m³	457	89.389	40.830.589	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	1.696	9.891	16.779.704	
	ENFIERRADURA A 63-42H	kg	22.839	1.139	26.011.388	
10.	DESCARGA KM 5,51					19.436.372
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	15	60.729	910.938	
	HORMIGÓN H25	m³	92	89.389	8.223.819	
	ENFIERRADURA A 63-42H	kg	4.585	1.139	5.221.952	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	249	9.891	2.462.862	
	MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m³	35	49.424	1.729.845	
	ACERO - PIEZAS ESPECIALES e = 8 mm	kg	102	3.794	386.957	
	MECANISMO DE LEVANTE ESTANDAR	uni	2	250.000	500.000	
11.	DESCARGA KM 8,95					14.032.407
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	10	60.729	607.292	
	HORMIGÓN H25	m³	54	89.389	4.827.024	

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.3-2
PRESUPUESTO OBRAS DE RIEGO A PRECIOS SOCIALES

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL ($)	TOTAL ITEM ($)
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	2.651	1.139	3.019.279	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	356	9.891	3.521.200	
	MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m³	24	49.424	1.186.179	
	ACERO - PIEZAS ESPECIALES e = 8 mm	kg	90	3.794	341 432	
	MECANISMO DE LEVANTE ESTANDAR	uni	2	250.000	500.000	
12.	ENTREGA CANALES CATEMU BAJO Y PEPINO KM 5,75					28.150.832
	HORMIGÓN H5 (emplantillado)	m³	17	60.729	1.024.684	
	HORMIGÓN H25	m³	118	89.389	10.517.907	
	ENFIERRAFDURA A 63-42H	kg	5.883	1.139	6.700.499	
	MOLDAJES PARA HORMIGÓN (5 USOS)	m²	752	9.891	7.434.994	
	MAMPOSTERIA DE PIEDRA	m³	30	49.424	1.482.724	
	ACERO - PIEZAS ESPECIALES e = 8 mm	kg	129	3.794	490.024	
	MECANISMO DE LEVANTE ESTANDAR	uni	2	250.000	500.000	
		TOTAL COSTOS DIRECTOS				$ 9.199.772.718
		GASTOS GENERALES Y UTILIDADES (35%)				$ 3.219.920.451
		TOTAL COSTO				$ 12.419.693.170

Nota: Referencia Valor UF $21.893, al 01/06/2011
Referencia Valor Dólar $488,15 al 01/06/2011

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 9.3-3 se presenta el resumen de presupuesto de las obras de riego tanto a precios privados y precios sociales. En este cuadro se incluye el costo de las expropiaciones presentado en el Capítulo 8. Adicionalmente, se incluye en el Cuadro 9.3-4 un análisis porcentual de la distribución de los costos directos. En este último cuadro se observa que la componente más relevante es la de revestimiento del canal, con sobre un 85% de incidencia en el costo total.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.3-3
RESUMEN PRESUPUESTO OBRAS DE RIEGO ($)

ITEM	DESCRIPCION	PRECIOS PRIVADOS	PRECIOS SOCIALES
1.	AMPLIACIÓN TÚNEL 1	149.695.203	136.895.072
2.	AMPLIACIÓN TÚNEL 2	227.126.706	205.130.663
3.	REVESTIMIENTO CANAL UNIFICADO ARRIBA DE CATEMU (KM 0,000 - 13,700) - SECCION ABIERTA	6.753.014.909	5.783.063.025
3.1	REVESTIMIENTO CANAL UNIFICADO ARRIBA DE CATEMU (KM 13,700 - 17,615) – ABOVEDADO	2.389.550.736	2.094.197.969
4.	ABOVEDAMIENTO CANAL BAJO CATEMU	605.398.148	527.220.930
5.	BOCATOMA	222.823.575	210.567.741
6.	DESCARGAS SUPERFICIALES	33.946.581	31.265.467
7.	ENTREGAS PREDIALES	15.497.825	13.562.221
8.	OBRAS DE CRUCE DE CAMINO	58.709.117	51.550.029
9.	CAMARAS DE INSPECCION	96.476.687	84.729.989
10.	DESCARGA KM 5,51	22.318.156	19.436.372
11.	DESCARGA KM 8,95	15.849.470	14.002.407
12.	ENTREGA CANALES CATEMU BAJO Y PEPINO KM 5,75	31.856.726	28.150.832
	TOTAL COSTOS DIRECTOS	**10.622.263.839**	**9.193.772.718**
	GASTOS GENERALES Y UTILIDADES (35%)	**3.717.792.344**	**3.218.920.451**
	TOTAL COSTO	**14.340.056.183**	**12.412.693.170**
	EXPROPIACIONES	**248.226.027**	**248.226.027**
	TOTAL COSTO ($)	**14.588.282.210**	**12.667.919.197**
	TOTAL COSTO (US)	**31.161.556**	**27.059.530**
	TOTAL COSTO (UF)	**666.345**	**578.629**

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 9.3-4
DISTRIBUCIÓN PARTIDAS PRESUPUESTARIAS OBRAS DE RIEGO (%)

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIOS PRIVADOS	PRECIOS SOCIALES
1.	AMPLIACIÓN TÚNEL 1	1,4	1,5
2.	AMPLIACIÓN TÚNEL 2	2,1	2,2
3.	REVESTIMIENTO CANAL UNIFICADO ARRIBA DE CATEMU (KM 0,000 - 13,700)	63,6	62,9
4.	ABOVEDAMIENTO CANAL BAJO CATEMU	22,5	22,8
5.	BOCATOMA	5,7	5,7
6.	DESCARGAS SUPERFICIALES	2,1	2,3
7.	ENTREGAS PREDIALES	0,3	0,3
8.	OBRAS DE CRUCE DE CAMINO	0,1	0,1
9.	CÁMARAS DE INSPECCIÓN	0,6	0,6
10.	DESCARGA KM 5,51	0,9	0,9
11.	DESCARGA KM 8,95	0,2	0,2
12.	ENTREGA CANALES CATEMU BAJO Y PEPINO KM 5,75	0,1	0,2
	TOTAL	**99,7**	**99,7**

Fuente: Elaboración propia

9.4. RESUMEN PRESUPUESTO MCH

Se presenta en el Cuadro 9.4-1 el resumen del presupuesto de las minicentrales hidroeléctricas, el presupuesto completo se encuentra en el Anexo 9-2 de este informe.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9.4-1
RESUMEN PRESUPUESTO MCH

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	COSTO ITEM (MM $CH)	COSTO ITEM (USD)	%
1.0	INSTALACION DE FAENAS	99	210.638	1,6%
2.0	CAMINOS DE ACCESO	79	168.365	1,3%
3.0	CANAL DE ADUCCIÓN Y DESARENADOR	419	895.129	6,8%
4.0	CAMARA DE CARGA Y VERTEDERO LATERAL	156	333.327	2,5%
5.0	VERTEDERO DE RECHAZO DE CARGA	193	412.883	3,1%
6.0	TUBERÍAS	534	1.139.608	8,7%
7.0	CASA DE MAQUINAS Y FUNDACIÓN EQUIPOS	821	1.753.947	13,3%
8.0	FOSO Y CHUTE DE DISIPACIÓN	223	476.795	3,6%
9.0	CANAL DE RESTITUCIÓN	552	1.178.163	9,0%
10.0	EQUIPOS ELECTROMECANICOS	2.921	6.239.063	47,4%
11.0	LINEA ELECTRICA Y PATIO TRANSFORMACIÓN	166	354.387	2,7%
	COSTO NETO	6.162	13.162.305	
	GG Y UT.CONSTRUCTORA OO.CC. (35%)	2.157	4.606.807	
	TOTAL	8.319	17.769.112	
	Inversión por potencia instalada		2.141	U$/kW

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

9. PRECIOS UNITARIOS, CUBICACIONES Y PRESUPUESTOS 1

9.1. GENERALIDADES 1

9.2. PRECIOS UNITARIOS 1

9.2.1. Generalidades 1

9.2.2. Análisis de Precios Unitarios Obras de Riego 1

Fuente: Elaboración propia a partir Electrowatt (2000) y Base Datos Consultor 2

9.2.3. Precios Unitarios MCH 2

9.3. CUBICACIÓN Y PRESUPUESTO OBRAS DE RIEGO 5

9.4. RESUMEN PRESUPUESTO MCH 9

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CAPÍTULO 10

ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL

10. ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL

10.1. INTRODUCCIÓN

El Estudio de Análisis Ambiental (EAA) tuvo como objetivo principal analizar, a nivel de prefactibilidad y desde la perspectiva ambiental, los efectos o implicancias de las obras sobre el medio ambiente enfocados en la Alternativa estudiada en la presente consultoría, incluyendo análisis legal, descripción y evaluación de impactos potenciales preliminares, proposición de medidas de mitigación, reparación y compensación y su valoración económica. El EAA completo y detallado se encuentra en el Volumen 5 del presente estudio.

10.2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL EAA

10.2.1. Objetivo General

Analizar, a nivel de prefactibilidad y desde la perspectiva ambiental, los efectos o implicancias de las obras sobre el medio ambiente enfocados en la Alternativa escogida durante la consultoría, incluyendo análisis legal, descripción y evaluación de impactos potenciales preliminares, proposición de medidas de mitigación, reparación y compensación y su valoración económica.

10.3. CONTENIDO DEL EAA

El presente EAA se presenta en 11 Capítulos y un Resumen Ejecutivo. El contenido de cada capítulo se describe brevemente a continuación:

1. **Introducción y Objetivos:** Pone en contexto el EAA y expone objetivos del mismo.

2. **Antecedentes Generales del Estudio:** Da a conocer la características generales del estudio en curso y el tipo de obras involucradas.

3. **Descripción del Marco Legal Ambiental Aplicable y Análisis de Pertinencia de Ingreso al SEIA:** Expone los cuerpos legales que regulan la ejecución de las obras y actividades en estudio en materia ambiental y el análisis de pertinencia de ingreso al SEIA.

4. **Explicación de la metodología general del EAA.** Se detallan los pasos seguidos para la evaluación de los impactos ambientales.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5. **Caracterización Ambiental y Territorial del Área de Influencia:** Se describen los principales aspectos de los componentes ambientales relevantes en el proyecto en el área de influencia.

6. **Evaluación de Impactos Ambientales Potenciales:** Se identifican y evalúan impactos ambientales en etapas de construcción y operación, describiendo previamente el método empleado.

7. **Medidas de Mitigación, Reparación y/o Compensación:** Se proponen medidas ambientales tentativas y se estiman sus costos.

8. **Permisos Sectoriales.** Se explica lo referente a la identificación de permisos ambientales sectoriales.

9. **Estudios Recomendados:** Detalla los estudios ambientales recomendados para las etapas posteriores (factibilidad y diseño), con el fin de sumar información de mayor detalla a la toma de decisiones en materia ambiental.

10. **Conclusiones:** Se presentan conclusiones del EAA.

11. **Referencias bibliográficas.** Se indica el nombre de las fuentes bibliográficas consultadas.

10.4. RESULTADOS PRINCIPALES DEL ESTUDIO

10.4.1. Análisis de Pertinencia de Ingreso al SEIA

Respecto del ingreso, se concluye que el proyecto ingresa al SEIA ya sea por la letra a) o la c) del articulo 10 de la Ley 19.300 y sus posteriores modificaciones.

Se establece posteriormente, que las obras y actividades contempladas en el presente proyecto, podrían producir los efectos indicados en el Artículo 11 de la Ley 19.300 (y Ley 20.417), letra "c" (detallada posteriormente en el artículo 8 del Reglamento del SEIA), al contemplar expropiaciones en zonas con presencia de casas e instalación de la Minicentral en zonas aledañas a zonas habitadas, alterando las formas de vida de la población ahí asentada. Dado esto **se concluye que el proyecto debe ingresar al SEIA como EIA.**

Esta conclusión deberá ser ratificada en las siguientes fases del proyecto, al conocer en mayor detalle sus obras, diseños definitivos y actividades asociadas, y habiéndose también realizado los estudios propuestos en el presente informe (ver Acápite 9 del Informe EAA en Volumen 5, "Estudios recomendados") en una eventual Etapa de Factibilidad.

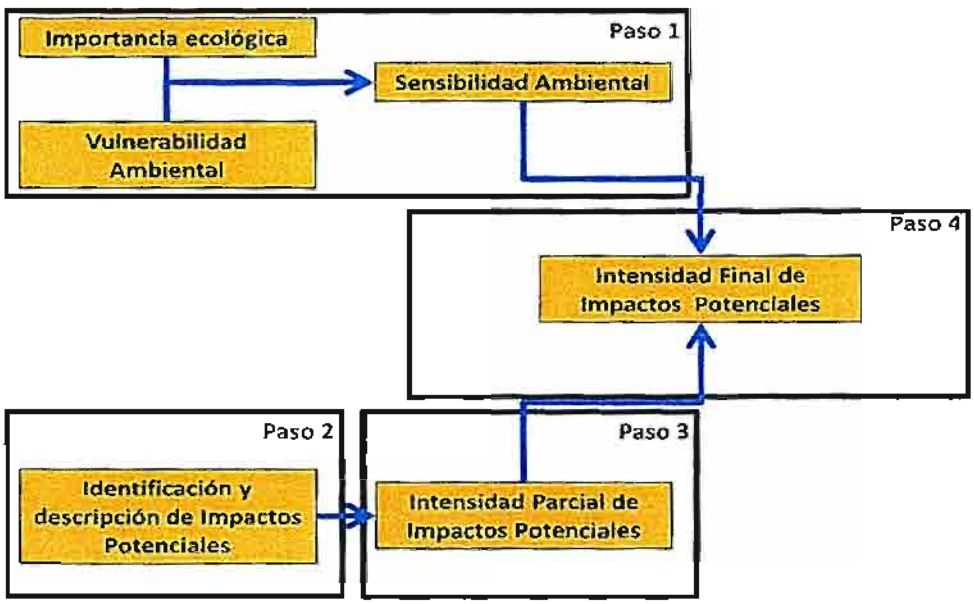
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

10.4.2. Evaluación de Impactos Ambientales

La evaluación de la intensidad final de impactos potenciales, está dada por la combinación de los resultados obtenidos entre Sensibilidad Ambiental e Intensidad Parcial de Impactos Potenciales, tal como se indica en la explicación de este método (apartado 4 del Informe EAA en Volumen 5). Para efectos de este cálculo se obtuvo un valor de Sensibilidad Ambiental para cada componente, y un valor de Intensidad Parcial de Impactos potenciales. Posteriormente se promedian ambos valores en cada componente, para obtener un valor Final de Intensidad del Impacto.

La Figura 10.4.2-1 muestra un esquema de la metodología empleada.

FIGURA 10.4.2-1
ESQUEMA MÉTODO EAA



Fuente: Elaboración propia

El Cuadro 10.4.2-1 muestra el resultado final de dichos cálculos.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniera.cl

CUADRO 10.4.2-1
EVALUACIÓN FINAL DE INTENSIDAD DE IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES

Componente	Sensibilidad Ambiental	Intensidad parcial de impactos	Intensidad Final del Impactos
Calidad del aire	2,00	1,70	1,85
Ruido y Vibraciones	1,75	2,35	2,05
Geomorfología	2,50	1,60	2,05
Suelos	1,50	1,86	1,68
Hidrografía e Hidrología	2,50	2,10	2,30
Calidad de aguas	3,00	1,70	2,35
Vegetación y flora	1,50	1,95	1,73
Fauna	1,50	1,75	1,63
Biodiversidad	3,00	1,80	2,40
Social	3,00	2,60	2,80
Arqueológico	1,00	1,00	1,00
Infraestructura vial	2,00	2,05	2,03

Fuente: Elaboración propia

Debe tenerse en cuenta que el resultado de este análisis está fuertemente condicionado a la información disponible respecto de los componentes ambientales, siendo en la mayorías de los casos de carácter general y obtenida a partir de recopilación bibliográfica y fuentes secundarias.

10.4.3. Medidas Ambientales y Costos Asociados

Los Cuadros 10.4.3-1 y 10.4.3-2 muestra el resumen de los costos asociados según componente ambiental y tipo de medida. El Cuadro detallado de cada medida propuesta se encuentra en el Acápite 7 del Informe EAA (Volumen 5).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.4.3-1
RESUMEN COSTOS MEDIDAS AMBIENTALES POR COMPONENTE

Componente	Costo (pesos)		Total Componente
	Año 0	Año 1	
Arqueología	70.262.314	42.471.019	112.733.333
Calidad del Aire	78.402.760	-	78.402.760
Fauna	39.821.223	12.265.978	52.087.201
Flora y Vegetación	1.471.917	2.453.196	3.925.113
Hidrología y Calidad de Aguas	11.292.346	11.292.346	22.584.692
Ruido y Vibraciones	6.775.409	-	6.775.409
Suelo	4.516.939	58.720.202	63.237.141
Transversal	72.833.333	53.554.352	126.387.685
Subtotal	**285.376.241**	**180.757.093**	**466.133.333**
Total (+20% de imprevistos)	**342.451.489**	**216.908.511**	**559.360.000**

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 10.4.3-2
RESUMEN COSTOS AMBIENTALES POR TIPO DE MEDIDA

Tipo de Medida	Costo (pesos)		Total Tipo
	Año 0	Año 1	
Compensación	9.199.484	9.199.484	18.398.968
Mitigación	143.815.119	17.316.495	161.131.614
Planes o programas	132.361.638	93.067.718	225.429.356
Reparación	-	61.173.396	61.173.396
Subtotal	**285.376.241**	**180.757.093**	**466.133.333**
Total (+20% de imprevistos)	**342.451.489**	**216.908.511**	**559.360.000**

Fuente: Elaboración propia

10.4.4. Estudios Recomendados para Etapas Posteriores

A continuación se mencionan aquellos estudios específicos, que se recomienda realizar para una eventual Etapa de Factibilidad del presente proyecto:

- Línea de base de fauna terrestre (levantamiento en terreno) asociada a las zonas incluidas dentro del área de influencia directa del componente. Incluye la identificación de las especies presentes y potenciales en el área a través de métodos directos, indirectos y consulta a lugareños (debe considerar trampeo y/o avistamiento según corresponda). Se debe conocer su distribución, abundancia y grado de conservación. Debe incluir mamíferos, aves, anfibios y reptiles.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.c

- Línea de base de flora y vegetación (levantamiento de información en terreno) terrestre asociada a las zonas incluidas dentro del área de influencia directa del componente. Se deberá realizar un análisis descriptivo de la vegetación y de especies de flora existentes, señalando su densidad, distribución, diversidad, abundancia relativa y su estado de conservación cuando corresponda.

- Línea de base del patrimonio arqueológico y cultural (levantamiento de información en terreno) en las zonas del incluidas dentro del área de influencia directa del componente. Se identificará, a través de inspección superficial, las áreas protegidas o sitios de interés de cualquier índole, monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico o perteneciente al patrimonio cultural.

- Línea de base de la Calidad del Aire. Debe incluir monitoreos/mediciones de la calidad del aire en puntos estratégicos que se deberán definir en conjunto con la inspección fiscal del futuro estudio. Deberán realizarse al menos 2 campañas en distintos períodos del año.

- Línea de base de Ruido y Vibraciones. Debe incluir monitoreos/mediciones de los niveles sonoros y de vibraciones en puntos estratégicos que se deberán definir en conjunto con la inspección fiscal del futuro estudio. Deberán realizarse al menos 2 campañas en distintos periodos del año.

10.4.5. Conclusiones

El proyecto analizado en el presente informe, debe someterse al SEIA mediante la elaboración de un EIA, dado que cumple con los requisitos estipulados con la Normativa Ambiental vigente en Chile (ver apartado 3.2 del Informe EAA, en Volumen 5). Esta conclusión deberá ser ratificada en las siguientes fases del proyecto (Etapa de Factbilidad), al conocer en mayor detalle sus obras, diseños definitivos y actividades asociadas.

De forma adicional, se ha realizado un análisis preliminar de impactos potenciales, en el cual se concluye inicialmente, que el componente más afectado sería el social dada las eventuales expropiaciones de zonas habitadas (ver Acápite 6.2 del Informe EAA en Volumen 5) y/o la cercanía de las casas a la zona de la Minicentral, alterando formas de vida de la población ahí asentada. Este impacto sería permanente tanto en las etapas de operación como construcción. A esto le sigue el componente Biodiversidad, ya que la obra se haya contigua al Sitio prioritario "Cerro Tabaco", considerado en la Estrategia Regional de Biodiversidad.

Se realizó también una estimación preliminar de costos ambientales asociados a la ejecución de un conjunto de medidas de mitigación, reparación y/o compensación que han

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

sido propuestas de forma tentativa, los cuales ascienden a un total de 699 millones de pesos a usarse en 2 años.

Finalmente, se ha recomendado la realización de algunos estudios ambientales específicos de flora y fauna, estudios sobre patrimonio arqueológico, calidad del aire y ruido, con el fin de afinar el conocimiento referente a estos temas y aumentar así el nivel de claridad y seguridad al momento de evaluar el impacto ambiental correspondiente, con todo lo que esto involucra en términos de la toma de decisiones futuras, planificación y manejo. Estos estudios, se propone, debieran realizarse para el Estudio de Factibilidad del mismo proyecto.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CAPÍTULO 11

EVALUACIÓN ECONÓMICA

11. EVALUACIÓN ECONÓMICA

11.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la evaluación económica del proyecto, considerándose los costos y los beneficios derivados del mejoramiento de las obras. El análisis incluye el cálculo de los indicadores para diferentes alternativas de mejoramiento, para luego desarrollar un análisis de sensibilidad de los aspectos más relevantes de la evaluación.

11.2. INDICADORES DE RENTABILIDAD

Los indicadores de rentabilidad determinados corresponden al Valor Actual Neto (VAN), VAN/Superficie de riego (VAN/sup), Tasa Interna de Retorno (TIR), IVAN (VAN/Inversión), la Inversión/Superficie de riego (Inv/sup) y razón n/k que es la razón entre los flujos positivos y los flujos negativos. Estos indicadores son comúnmente utilizados en este tipo de evaluación. Los parámetros básicos de ingreso para el cálculo de estos indicadores son los costos de inversión y mantenimiento, el beneficio anual esperado y las tasas de descuento, la que según MIDEPLAN es de 6% a precios sociales para el proceso presupuestario 2012. A precios privados se considera una tasa de descuento del 15%, basándose en los requerimientos de la CNR. Se consideró como horizonte de evaluación un período de 30 años. Debe hacerse notar que no se incluyen impuestos de ningún tipo.

En general, el VAN se calcula con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{i=1}^{30} \left[\frac{B_i - O_i - I_i}{(1+r)^i} \right] - I$$

Donde:

VAN : Valor actual neto
B : Beneficios del proyecto
I : Inversión inicial
O_i : Operación y mantención anual al año i
I_i : Inversión anual (durante el período de construcción)
r : Tasa de descuento

Por otra parte, la TIR se calcula como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$\sum_{i=1}^{30}\left[\frac{B_i - O_i - I_i}{(1+Tir)^i}\right] - I = 0$$

Adicionalmente el IVAN se calcula como la razón entre el VAN calculado anteriormente y la inversión actualizada (I_{act}), la cual está dad por:

$$I_{act} = \sum_{i=1}^{30}\left[\frac{I_i}{(1+r)^i}\right] + I$$

11.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN

La evaluación económica se realiza con tres métodos:

1. **Método del Presupuesto:** Es el método más tradicional utilizado, en el cual el agua es considerada un insumo de la producción de otro bien, en este caso los cultivos regados. De esta forma, el beneficio del proyecto se traduce en las diferencias de la producción agrícola, en términos de los márgenes netos económicos, que se estiman a raíz de la utilización del agua en los escenarios Con y Sin Proyecto.

2. **Método del Valor Incremental de la Tierra:** Este método se basa en el enfoque de los Precios Hedónicos, en el cual el precio de un bien se debe a una serie de tributos de dicho bien, entre los que se encuentran la disponibilidad de agua, el tipo de suelo, la aptitud de uso y los cultivos que en la práctica se desarrollan. En un escenario con proyecto cada una de las características mencionadas deberían incrementar el valor de la tierra, por lo que se asume que este correspondería a su beneficio.

3. **Método de las Transacciones de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas:** En este caso se considera el mercado del agua para determinar el valor económico del agua asociada al proyecto, en cuanto a un mayor volumen disponible o el costo evitado para la compra de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas.

11.4. ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

Para realizar la evaluación económica se definieron cinco escenarios de evaluación:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniena.cl

1. **Evaluación para Uso en Riego:** Corresponde a evaluar los beneficios de evaluar el proyecto en su totalidad, exceptuando los costos de la MCH, considerando sólo los beneficios derivados del riego y el control de inundaciones (a precios sociales). Este escenario busca determinar el beneficio que tendría la inversión en los primeros kilómetros del canal matriz si se concibiera solo como un proyecto de riego, maximizando el uso de los recursos para este fin.

2. **Evaluación para riego y generación hidroeléctrica:** Este escenario considera la inclusión de todos los beneficios y costos atribuibles al proyecto.

3. **Evaluación para uso exclusivo en riego:** En este caso sólo se considera evaluar el beneficio de las obras que sólo son necesarias para llevar a cabo el riego, es decir, la bocatoma, algunas obras anexas y el canal de conducción, pero con una capacidad inferior, igual a 4 m^3/s.

4. **Evaluación para uso exclusivo en generación hidroeléctrica:** Corresponde al diferencial entre la situación de Riego e Hidroelectricidad conjunta (Escenario 2) y el caso sólo de riego (Escenario 3).

5. **Evaluación para Riego y Generación Hidroeléctrica, con Red Secundaria 100% Operativa:** Corresponde al Escenario 2, cuando además se considera que la red secundaria está 100 % operativa, con lo cual es posible aumentar la superficie regada. El aumento de superficie se determinó mediante la aplicación del modelo de simulación presentado en el Capítulo 6.

Con el fin de desarrollar la evaluación, se presenta en el Acápite 11.5 los costos y en el Acápite 11.6 los beneficios a considerar.

11.5. COSTOS

11.5.1. Introducción

Los costos considerados en el análisis económico corresponden a los costos de las obras de riego, incluyendo además los costos de operación y mantenimiento, los costos de las expropiaciones y servidumbres. Por último, también se incluyen los costos de las diferentes alternativas de minicentral hidroeléctrica. Los costos asociados a las medidas de mitigación de impacto ambiental y social negativo también se han incluido, de acuerdo a estimación realizada en el Estudio de Análisis Ambiental desarrollado.

El valor de la Unidad de Fomento (U.F.) está referida al 1 de Julio de 2011, fecha en que tenía el valor de $ 21.892,81. Por su parte, el dólar se consideró igual a $ 468,15.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

11.5.2. Costo de las Obras de Riego

En el Cuadro 11.5.2-1 se presenta el resumen de los costos directos de las principales obras físicas del proyecto, tanto a precios privados como sociales (no incluyen IVA). Además se considera un 35% de los costos directos como gastos generales y utilidades. El presupuesto detallado se presentó anteriormente en el Capítulo 9. Se hace notar que este costo de obras se utiliza para la evaluación de los escenarios 1, 2, 4 y 5. Por otra parte, para el escenario 3 los costos a considerar son menores, y se presentan en el Cuadro 11.5.2-2.

CUADRO 11.5.2-1
RESUMEN PRESUPUESTO OBRAS PROPUESTAS

Ítem	Descripción	Precios Privados	Precios Sociales
1.	Ampliación Túnel 1	149.695.203	136.895.072
2.	Ampliación Túnel 2	227.126.706	206.130.663
3.	Revestimiento		
3.1	Revestimiento Canal Unificado Arriba de Catemu (Km 0,000 - 13,700) - Sección Abierta	6.753.014.909	5.783.063.025
3.2	Revestimiento Canal Unificado Arriba de Catemu (Km 13,700 - 17,615) - Abovedado	2.389.550.736	2.094.197.969
4.	Abovedamiento Canal Bajo Catemu	605.398.148	527.220.930
5.	Bocatoma	222.823.575	210.567.741
6.	Descargas Superficiales	33.946.581	30.265.467
7.	Entregas Prediales	15.497.825	13.562.221
8.	Obras de Cruce de Camino	58.709.117	51.550.029
9.	Cámaras De Inspección	96.476.687	84.729.989
10.	Descarga Km 5,51	22.318.156	19.436.372
11.	Descarga Km 8,95	15.849.470	14.002.407
12.	Entrega Canales Catemu Bajo Y Pepino Km 5,75	31.856.726	28.150.832
	TOTAL COSTOS DIRECTOS	**10.622.263.839**	**9.199.772.718**
	GASTOS GENERALES Y UTILIDADES (35%)	**3.717.792.344**	**3.219.920.451**
	TOTAL COSTO ($)	**14.340.056.183**	**12.419.693.170**
	TOTAL COSTO (US$)	**30.631.328**	**26.529.303**
	TOTAL COSTO (UF)	**655.006**	**567.291**

Nota: Referencia Valor UF $21.893, al 01/06/2011
Referencia Valor Dólar $468,15 al 01/06/2011
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, para el Escenario 5 se considera además el costo del mejoramiento de la red secundaria, costo que se presenta en el Cuadro 11.5.2-3. Este costo es una estimación basada en un diseño simplificado y un costo unitario por kilómetro.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 11.5.2-2
RESUMEN PRESUPUESTO OBRAS PROPUESTAS

Ítem	Descripción	Precios Privados	Precios Sociales
1.	Ampliación Túnel 1	149.467.335	139.898.660
2.	Ampliación Túnel 2	226.881.537	211.567.898
3.	Revestimiento Canal Unificado Arriba de Catemu (Km 0,000 - 17,600)	4.762.373.303	4.117.067.136
4.	Abovedamiento Canal Bajo Catemu	733.646.546	670.078.621
5.	Bocatoma	355.435.691	333.327.033
6.	Descargas Superficiales	33.791.374	30.413.311
7.	Entregas Prediales	15.153.651	13.271.158
8.	Obras de Cruce de Camino	58.497.423	51.360.153
9.	Cámaras De Inspección	94.117.815	82.781.139
10.	Descarga Km 5,51	47.098.292	42.454.561
11.	Descarga Km 8,95	37.834.272	34.402.148
12	Entrega Canales Catemu Bajo y Pepino Km 5,75	63.398.143	57.456.858
	TOTAL COSTOS DIRECTOS	**6.577.695.382**	**5.784.078.676**
	GASTOS GENERALES Y UTILIDADES (35%)	**2.302.193.384**	**2.024.427.537**
	TOTAL COSTO ($)	**8.879.888.765**	**7.808.506.213**
	TOTAL COSTO (US$)	**18.968.042**	**16.679.496**
	TOTAL COSTO (UF)	**405.604**	**356.667**

Nota: Referencia Valor UF $21.893, al 01/06/2011
Referencia Valor Dólar $468,15 al 01/06/2011
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 11.5.2-3
RESUMEN PRESUPUESTO RED SECUNDARIA

Ítem	Precios Privados	Precios Sociales
CANAL ARRIBA DE CATEMU		
Aumento Capacidad de 33,75 km	2.475.940.659	2.142.927.855
Aumento Capacidad de 8 km		
CANAL ABAJO DE CATEMU		
Aumento Capacidad de 18,4 km	2.324.032.840	2.017.775.112
Aumento Capacidad de 7.5 km		
CANAL PEPINO		
Aumento Capacidad de 12,9 km	731.266.315	633.742.411
Aumento Capacidad de 5 km		
COSTOS TOTAL (Incluye GG+U)	**5.531.239.813**	**4.794.445.379**

Nota: Referencia Valor UF $21.893, al 01/06/2011
Referencia Valor Dólar $468,15 al 01/06/2011
Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

11.5.3. Costos de la Minicentral Hidroeléctrica

Tal como se indicó en el Capítulo 4, se consideraron para el análisis de generación hidroeléctrica cuatro alternativas de tamaño, eligiendo la minicentral (MCH) con una potencia instalada de 8,3 MW y un caudal de diseño de 13 m³/s. Los costos directos totales se presentan en forma resumida en el Cuadro 11.5.3-1 (no incluyen IVA), en el cual además se incluyen gastos generales y utilidades como un 35% del costo directo.

CUADRO 11.2.3-1
COSTO TOTAL MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA

Ítem	Descripción	COSTO ($)	COSTO (US$)	COSTO (UF)
1.	Instalación de Faenas	98.610.000	210.638	4.504
2.	Caminos de Acceso	78.820.000	168.365	3.600
3.	Canal de Aducción y Desarenador	419.054.500	895.129	19.141
4.	Cámara de Carga y Vertedero Lateral	156.046.900	333.327	7.128
5.	Vertedero de Rechazo de Carga	193.291.280	412.883	8.829
6.	Tuberías	533.507.547	1.139.608	24.369
7.	Casa de Maquinas y Fundación Equipos	821.110.400	1.753.947	37.506
8.	Foso y Chute de Disipación	223.211.800	476.795	10.196
9.	Canal de Restitución	551.557.200	1.178.163	25.193
10.	Equipos Electromecánicos	2.920.817.293	6.239.063	133.413
11.	Línea Eléctrica y Patio Transformación	165.906.315	354.387	7.578
	COSTO NETO	**6.161.933.235**	**13.162.305**	**281.457**
	GASTOS GENERALES Y UTILIDADES (35%)	**2.156.676.632**	**4.606.807**	**98.510**
	TOTAL	**8.318.609.867**	**17.769.112**	**379.967**

Nota: Referencia Valor UF $21.893, al 01/06/2011
Referencia Valor Dólar $468,15 al 01/06/2011
Fuente: Elaboración propia

11.5.4. Costos Ambientales

Tal como se indica en el Estudio de Análisis Ambiental, los costos ambientales se han estimado considerando medidas de mitigación, reparación y/o compensación y planes o programas tentativos propuestas a priori. Dichos costos se presentan en el Cuadro 11.5.4-1, diferenciados según tipo de medida y año. La información detallada se presenta en el Capítulo 10 del presente informe y en el Volumen del Estudio de Análisis Ambiental. Estos valores se utilizan para los escenarios 1, 2 y 5. Para el escenario 3 se considera un 75% de estos costos, y para el escenario 4, sólo riego, un 25%.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

CUADRO 11.5.4-1
RESUMEN COSTOS AMBIENTALES

Tipo de medida	Costo (pesos)		Total Según Tipo de Medida
	Año 0	Año 1	
Compensación	9.199.484	9.199.484	18.398.968
Mitigación	143.815.119	17.316.495	161.131.614
Planes o programas	132.361.638	93.067.718	225.429.356
Reparación	-	61.173.396	61.173.396
Subtotal	**285.376.241**	**180.757.093**	**466.133.333**
Total (+20% de imprevistos)	**342.451.489**	**216.908.511**	**559.360.000**

Nota: Referencia Valor UF $21.893, al 01/06/2011
Referencia Valor Dólar $468,15 al 01/06/2011
Fuente: Elaboración propia

11.5.5. Expropiaciones

Para determinar el costo de las expropiaciones se procedió en forma simplificada considerando un costo unitario por hectárea a expropiar igual a $ 6.049.867. Este valor se determinó usando información de estadísticas de ventas de terrenos de ODEPA. Por otra parte, para materializar el proyecto se determinó que se requiere expropiar 41,03 ha. De esto se tiene que el valor base de las expropiaciones asciende a $ 248.226.027. Los escenarios 1, 2 y 5 quedan representados por este costo. Por otra parte, el escenario 3 que sólo representa las obras de riego, se considera que se requieren sólo un 25% de las expropiaciones, ascendiendo éstas a $ 62.056.507. Por último, para el escenario 4 que considera sólo la hidroelectricidad se considera el 75% restante, es decir, $ 186.168.520.

11.5.6. Costos de Operación

De acuerdo al nivel de desarrollo de proyecto presente, los costos de operación y mantenimiento para el proyecto se consideran como el 2% del costo directo de inversión para el Escenario 1 y 4. Para los escenarios 2 y 5, que combinan riego e hidroelectricidad, el costo de operación conjunta se reduce en $ 50.000.000. Por último, es escenario 3 se calcula como el diferencial entre el los escenarios 2 y 4. Los resultados se presentan en el Cuadro 11.5.6-1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 11.5.6-1
RESUMEN COSTOS DE OPERACIÓN ($)

Escenario	Precios Mercado	Precios Sociales
1	212.445.277	183.995.454
2 y 5	162.445.277	133.995.454
3	30.891.369	18.181.880
4	131.553.908	115.681.574

Nota: Referencia Valor UF $21.893, al 01/06/2011
Referencia Valor Dólar $468,15 al 01/06/2011
Fuente: Elaboración propia

Por último, en lo que respecta a la MCH, se considera que su costo de operación es equivalente a un 1,5% del costo directo de inversión.

11.6. BENEFICIOS

11.6.1. Generalidades

En esta sección se presentan y describen brevemente los beneficios considerados para la evaluación.

11.6.2. Beneficios Derivados del Riego

Algunos de los principales beneficios del mejoramiento de la infraestructura de riego son la mayor disponibilidad de recursos y el aumento en la seguridad de riego. Lo anterior, en situación con proyecto, permite por una parte mejorar la expresión del potencial productivo de los cultivos, además de incorporar cultivos de mayor rentabilidad los que sin la seguridad de riego necesaria presentarían un alto riesgo a la inversión. Se hace notar que los beneficios que se presentan corresponden al caso en el que no hay un aumento significativo de la superficie de riego

En términos generales el efecto del proyecto tiene en primer lugar una repercusión en la seguridad de riego, tal como lo muestra el Cuadro 11.6.2-1. Se considera que estos cambios pueden incidir en un cambio de la estructura productiva del área de estudio y en los rendimientos de los cultivos, pero resulta poco significativo para proponer una ampliación de la zona regada. Se hace notar que los resultados mostrados en el Cuadro 11.6.2-1 muestran claramente que en los primeros 3 escenarios no hay incremento de la superficie regada, en cambio, el escenario 5 al considerar el mejoramiento de la red secundaria permite incrementar la superficie regada.

Los márgenes netos de los escenarios con y sin proyecto consideran los márgenes brutos obtenidos para cada cultivo en la superficie de riego menos los costos

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Foro (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

indirectos y gastos generales, inversión en riego tecnificado y asistencia técnica. Además, en la Situación Futura Con Proyecto se consideran costos por habilitación de terrenos, debido al cambio de la estructura productiva del suelo. Lo anterior primero se obtiene a nivel de cada predio promedio evaluado, valores que luego son expandidos para cada tipo de predio, sector y el total del área de estudio.

CUADRO 11.6.2-1
SEGURIDAD DE RIEGO ESCENARIOS

	Sector	Sup. Riego (ha)	Seguridad Riego (%)	Sup. Riego (ha)	Seguridad Riego (%)	Incremento Sup. Riego (ha)
Escenarios 1, 2 y 3	1-1	382,9	96,43	382,9	100,00	0,0
	1-2	934,6	60,71	934,6	89,29	0,0
	2	1090,4	96,43	1090,4	100,00	0,0
	3-1	785,4	55,36	785,4	83,93	0,0
	3-2	426,9	48,21	426,9	60,71	0,0
	Total	**3.620,2**	-	**3.620**	-	0,0
Escenario 5	1-1	382,9	100,00	560,0	85,71	**177,1**
	1-2	934,6	89,29	1.100,0	83,93	**165,4**
	2	1.090,4	100,00	1.371,6	94,64	**281,3**
	3-1	785,4	83,93	807,0	83,93	**21,6**
	3-2	426,9	60,71	426,9	60,71	0,0
	Total	**3.620,2**		**4.265,5**		**654,4**

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo de simulación

Los costos indirectos y gastos generales corresponden a los que los agricultores incurren para abordar ítem de administración, contribuciones, contabilidad, mantención de infraestructura, limpia de canales y electricidad, entre otros.

Los costos relacionados con la incorporación de sistemas tecnificados de riego se aplican a terrenos que en Situación Actual utilizan métodos tradicionales, tanto en la Situación Sin Proyecto como en Situación con Proyecto, pero con mayor grado de tecnificación en esta última. Lo anterior, contribuye para que se pueda alcanzar la superficie productiva planteada con la seguridad de riego y los rendimientos esperados, considerando la capacidad de los productores de realizar dichas modificaciones con y sin proyecto. Estos costos incluyen la inversión en el sistema de riego y la mantención anual.

También, se ha considerado un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica distinto dependiendo del mejoramiento o no de las obras. En la Situación Sin Proyecto se considera un apoyo tecnológico a través de un programa que favorezca la actividad agropecuario mediante el uso de los nuevos recursos disponibles. Lo anterior es factible mediante la introducción de nuevas tecnologías para el manejo de los rubros productivos. Este programa tienen una duración de 6 años para los predios de menor tamaño

(E1 y E2) e involucra al 40% de los predios de cada nivel tecnológico. Por otra parte, para los predios de más grandes (E3, E4 y E5) el programa se prolongará por 4 años y su cobertura es del 40% de la superficie predial de cada nivel tecnológico. No se ha considerado asistencia para los predios de nivel tecnológico Alto, debido a que ellos contratan sus propios servicios.

Por otra parte, el desarrollo agropecuario del área de estudio en Situación Con Proyecto requiere necesariamente un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica que contribuya a aumentar la adopción de tecnologías pertinentes, las cuales permitan potenciar el rendimiento de los cultivos y optimizar el uso de los recursos productivos. Los costos de este programa contemplan la contratación de personal técnico permanente, asesores e insumos físicos para llevar a cabo esta labor. Este programa tiene una duración de 7 años para el estrato E1; 3 años para los estratos E2 y E3; y 4 años para los estratos E4 y E5. Al igual que para la Situación Sin Proyecyo, no se ha considerado asistencia para los predios de nivel tecnológico Alto.

Además se ha considerado un costo de habilitación de terrenos en cuanto a despedradura, nivelación y acondicionamiento del terreno en general para la implementación de nuevas plantaciones de frutales.

Los valores de los márgenes de la Situación Con Proyecto y la Situación Sin Proyecto para un horizonte de 30 años se presentan en el Cuadro 11.6.2-2, tanto a precios de mercado como sociales, para los escenarios 1 y 2. . El detalle de los resultados se presenta en el Volumen 3 sobre Estudios Agroeconómicos. Por otra parte, en el Cuadro 11.6.2-3 se presentan los beneficios para el Escenario 5.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 11.6.2-1
FLUJO DE BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO ($)
ESCENARIOS 1, 2 Y 3

AÑO	PRECIOS DE MERCADO			AÑO	PRECIOS SOCIALES		
	SSP	SCP	FLUJO		SSP	SCP	FLUJO
0	5.012.973.002	5.012.973.002	0	0	5.969.847.151	5.969.847.151	0
1	5.998.859.554	5.924.130.470	-74.729.084	1	7.037.139.809	6.926.479.101	-110.660.708
2	9.147.613.566	9.132.928.202	-14.685.364	2	10.308.719.918	10.300.550.283	-8.169.635
3	10.805.143.992	11.274.656.530	469.512.538	3	12.107.566.203	12.637.653.034	530.086.831
4	11.693.031.638	12.345.484.063	652.452.425	4	13.024.665.130	13.758.413.266	733.748.136
5	12.740.512.676	13.505.972.327	765.459.652	5	14.087.561.242	14.936.853.340	849.292.098
6	10.538.407.762	12.622.623.302	2.084.215.540	6	11.894.016.385	14.043.274.787	2.149.258.401
7	12.587.314.874	13.425.603.947	838.289.073	7	13.915.904.889	14.842.040.828	926.135.939
8	12.559.932.390	13.613.252.541	1.053.320.150	8	13.899.331.259	15.047.269.320	1.147.938.061
9	11.644.580.781	12.777.681.445	1.133.100.664	9	13.021.185.228	14.186.438.987	1.165.253.759
10	11.769.618.237	12.909.293.079	1.139.674.842	10	13.044.677.361	14.258.415.128	1.213.737.767
11	11.556.348.455	12.519.761.879	963.413.424	11	12.800.865.433	13.828.051.581	1.027.186.147
12	9.692.752.151	10.860.014.981	1.167.262.829	12	10.952.235.381	12.095.424.117	1.143.188.736
13	8.138.277.385	10.328.166.312	2.189.888.928	13	9.283.615.990	11.499.826.231	2.216.210.241
14	9.092.523.313	10.615.021.827	1.522.498.514	14	10.171.299.844	11.765.305.381	1.594.005.537
15	7.772.720.497	10.180.562.500	2.407.842.003	15	8.878.831.911	11.360.319.431	2.481.487.520
16	10.769.247.836	11.833.708.888	1.064.461.052	16	11.915.048.753	13.070.632.022	1.155.583.269
17	6.402.658.369	7.391.314.772	988.656.403	17	7.548.865.648	8.516.468.15.922	967.610.274
18	7.447.469.152	8.686.107.678	1.238.638.526	18	8.528.677.844	9.835.871.548	1.307.193.704
19	7.262.038.269	8.648.413.974	1.386.375.705	19	8.367.737.030	9.805.697.663	1.437.960.633
20	7.441.235.325	9.230.066.766	1.788.831.440	20	8.589.476.417	10.408.458.114	1.818.981.697
21	5.259.480.220	8.054.210.415	2.794.730.195	21	6.465.281.278	9.326.582.932	2.861.301.655
22	8.856.479.766	9.843.809.636	987.329.870	22	10.153.071.182	11.164.788.734	1.011.717.552
23	6.103.814.277	8.649.316.519	2.545.502.243	23	7.359.291.492	9.971.335.345	2.612.043.853
24	8.865.193.755	10.446.644.131	1.581.450.376	24	10.128.999.639	11.794.134.918	1.665.135.280
25	10.670.162.572	11.764.512.654	1.094.350.082	25	11.965.113.168	13.147.228.449	1.182.115.281
26	11.322.419.605	12.410.058.548	1.087.638.943	26	12.637.143.772	13.817.984.699	1.180.840.926
27	11.909.638.054	12.948.488.039	1.038.849.985	27	13.257.484.427	14.369.326.647	1.111.842.220
28	12.160.794.050	13.423.047.284	1.262.253.234	28	13.496.078.051	14.847.645.852	1.351.567.801
29	11.350.017.544	12.976.873.126	1.626.855.582	29	12.684.740.750	14.398.979.660	1.714.238.911
30	11.996.459.223	12.955.296.762	958.837.539	30	13.374.632.824	14.352.129.454	977.496.629

Nota: Referencia Valor UF $21.893, al 01/06/2011
Referencia Valor Dólar $468,15 al 01/06/2011
Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 11.6.2-1
FLUJO DE BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO ($)
ESCENARIO 5

AÑO	PRECIOS DE MERCADO			AÑO	PRECIOS SOCIALES		
	SSP	SCP	FLUJO		SSP	SCP	FLUJO
0	5.012.973.002	5.012.973.002	0	0	5.969.847.151	5.969.847.151	0
1	5.998.859.554	5.420.645.545	-578.214.009	1	7.037.139.809	6.712.666.934	-324.472.875
2	9.147.613.566	8.490.887.617	656.725.949	2	10.308.719.918	10.452.644.090	143.924.172
3	10.805.143.992	10.181.062.289	-624.081.703	3	12.107.566.203	13.141.776.524	1.034.210.321
4	11.693.031.632	11.723.606.935	30.575.297	4	13.024.665.130	14.605.786.527	1.581.121.397
5	12.740.512.676	13.754.400.349	1.013.887.674	5	14.087.561.242	16.715.601.501	2.628.040.259
6	10.538.407.762	14.085.427.454	3.547.019.692	6	11.894.016.385	16.585.519.344	4.691.502.959
7	12.587.314.874	15.639.809.381	3.052.494.508	7	13.915.904.889	17.787.514.111	3.871.609.222
8	12.559.932.390	17.288.425.440	4.728.493.050	8	13.899.331.259	18.646.741.615	4.747.410.356
9	11.644.580.781	17.601.163.352	5.956.582.571	9	13.021.185.228	17.757.419.132	4.736.233.904
10	11.769.618.237	18.006.381.371	6.236.763.135	10	13.044.677.361	17.066.654.176	4.021.976.815
11	11.556.348.455	17.716.695.897	6.160.347.442	11	12.800.865.433	15.796.436.621	2.995.571.188
12	9.692.752.151	16.056.949.028	6.364.196.876	12	10.952.235.381	14.061.927.895	3.109.692.514
13	8.138.277.385	16.024.966.614	7.886.689.229	13	9.282.334.270	14.380.648.928	5.098.314.658
14	9.092.523.313	15.919.917.382	6.827.394.069	14	10.170.985.032	14.248.886.732	4.077.901.701
15	7.772.720.497	16.408.122.042	8.635.401.545	15	8.878.190.445	14.767.163.990	5.888.973.546
16	10.769.247.836	16.893.243.036	6.123.995.200	16	11.914.565.851	14.900.556.645	2.985.990.794
17	6.402.658.369	12.310.258.788	5.907.600.419	17	7.548.034.965	10.205.940.214	2.657.905.249
18	7.447.469.152	13.644.870.361	6.197.401.209	18	8.527.420.033	11.975.509.044	3.448.089.011
19	7.262.038.269	13.926.894.839	6.664.856.571	19	8.367.737.030	12.267.109.669	3.899.372.639
20	7.441.235.325	14.831.670.213	7.390.434.888	20	8.589.476.417	13.197.173.891	4.607.697.474
21	5.259.480.220	15.206.819.407	9.947.339.187	21	6.465.281.278	13.251.325.587	6.786.044.309
22	8.856.479.766	13.977.136.265	5.120.656.499	22	10.153.071.182	12.660.133.908	2.507.062.726
23	6.103.814.277	12.650.982.027	6.547.167.750	23	7.359.291.492	12.221.028.689	4.861.737.196
24	8.865.193.755	11.387.580.711	2.522.386.956	24	10.128.999.639	11.919.230.118	1.790.230.479
25	10.670.162.572	12.786.718.512	2.116.555.940	25	11.965.113.168	13.845.968.182	1.880.855.014
26	11.322.419.605	13.922.602.605	2.600.183.000	26	12.637.143.772	14.691.030.488	2.053.886.716
27	11.909.638.054	14.782.766.380	2.873.128.327	27	13.257.484.427	16.139.860.448	2.882.376.021
28	12.160.794.050	15.861.885.546	3.701.091.497	28	13.496.078.051	18.114.083.648	4.618.005.596
29	11.350.017.544	15.981.024.136	4.631.006.592	29	12.684.740.750	18.431.590.808	5.746.850.058
30	11.996.459.223	16.816.691.117	4.820.231.895	30	13.374.632.824	18.290.888.914	4.916.256.090

Nota: Referencia Valor UF $21.893, al 01/06/2011
Referencia Valor Dólar $468,15 al 01/06/2011
Fuente: Elaboración propia

11.6.3. Beneficios Derivados de la Generación Hidroeléctrica

En el Cuadro 11.3.3-1 se ha resumido los resultados de la simulación de la generación hidroeléctrica en el embalse, en la cual la operación de la central queda supeditada a las entregas de agua para riego. Estos resultados se presentaron anteriormente en el Capítulo 7, y representan los Escenarios 2 y 3. Para el Escenario 5 se realizó una nueva simulación, cuyos resultados también se incluyen en el Cuadro 11.6.3-1.

CUADRO 11.3.3-1
RESUMEN RESULTADOS GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

Año	Año Horizonte	Escenario 2 y 3			Escenario 5		
		Qmedio (m^3/s)	E (MWh/año)	Beneficio ($)	Qmedio (m^3/s)	E (MWh/año)	Beneficio ($)
1976/77	1	4,1	20.952,1	1.118.194.031	3,8	20.011,1	936.818.548
1977/78	2	7,5	38.472,4	2.053.237.472	7,3	37.781,8	1.768.754.354
1978/79	3	7,7	40.097,1	2.139.945.699	7,4	39.678,7	1.857.560.471
1979/80	4	5,5	28.434,6	1.517.529.032	5,2	28.513,1	1.334.840.611
1980/81	5	8,4	46.492,0	2.481.234.343	8,2	46.032,2	2.154.995.645
1981/82	6	3,2	15.630,2	834.168.627	2,9	15.005,8	702.497.210
1982/83	7	9,8	45.291,2	2.417.148.520	9,5	44.506,4	2.083.566.988
1983/84	8	7,8	42.255,4	2.255.131.247	7,5	41.712,2	1.952.754.749
1984/85	9	8,3	42.689,3	2.278.288.840	8,0	42.538,1	1.991.423.487
1985/86	10	5,5	29.259,1	1.561.533.284	5,2	25.945,0	1.214.617.166
1986/87	11	8,4	43.867,9	2.341.188.366	8,1	43.403,0	2.031.911.708
1987/88	12	9,5	44.961,7	2.399.567.040	9,2	45.436,0	2.127.087.641
1988/89	13	2,9	14.215,7	758.677.763	2,7	12.968,0	607.096.156
1989/90	14	4,8	24.671,4	1.316.689.461	4,5	23.440,9	1.097.384.254
1990/91	15	2,0	9.463,2	505.044.593	1,8	8.300,9	388.604.867
1991/92	16	7,5	39.290,3	2.096.888.865	7,2	38.803,5	1.816.583.712
1992/93	17	7,1	38.693,3	2.065.025.478	6,8	37.876,0	1.773.165.756
1993/94	18	6,1	30.558,5	1.630.879.656	5,8	29.604,4	1.385.930.763
1994/95	19	4,5	22.998,9	1.227.432.980	4,2	22.276,1	1.042.854.561
1995/96	20	3,0	15.570,1	830.962.193	2,8	14.465,5	677.203.945
1996/97	21	1,5	6.713,2	358.278.857	1,4	6.601,2	309.034.337
1997/98	22	8,8	41.986,3	2.240.770.926	8,5	41.674,8	1.951.005.308
1998/99	23	2,6	12.827,9	684.613.459	2,4	12.547,1	587.392.013
1999/00	24	4,5	23.442,2	1.251.087.858	4,2	22.649,6	1.060.339.168
2000/01	25	7,3	39.249,3	2.094.698.698	7,0	38.510,4	1.802.863.106
2001/02	26	6,3	33.292,3	1.776.780.687	6,1	32.605,1	1.526.409.041
2002/03	27	8,8	44.405,7	2.369.892.030	8,5	43.987,3	2.059.267.543
2003/04	28	5,4	27.753,2	1.481.161.985	5,1	26.826,3	1.255.873.459
2004/05	29	3,0	14.434,8	770.370.986	2,8	14.042,0	657.374.830
2005/06	30	8,2	40.485,2	2.160.659.113	7,9	40.090,6	1.876.843.354
Promedio		**6,0**	**30.615,1**	**1.581.196.196**	**5,7**	**29.927,8**	**1.401.068.492**

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación de beneficios hidroeléctricos, se considera el valor de la generación anual producida por las diferentes alternativas de central. Para esto se considera

el precio medio de la energía para el Sistema Interconectado Central (SIC), el que asciende a la suma de 53.369,1 $/kWh (precio nudo), y un beneficio producto de la potencia firme (50% potencia instalada) de 43.069,8 $/kW/año.

11.6.4. Beneficios por Disminución del Daño por Siniestros

Finalmente, otro de los beneficios que se identificó fue el daño por derrumbes en el canal y desbordes hacia el sector urbano de Catemu que se evita con el mejoramiento de las obras, específicamente con el revestimiento y construcción de obras de protección y descarga más eficientes.

Para llevar a cabo el cálculo se utilizó como base los resultados del estudio de Consultoría OME-57 "Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento de Canales Catemu" (Dirección de Riego-PROCIVIL, 1996), el cual en su Anexo B presenta un completo análisis de las roturas de los canales para la evaluación económica. Los pasos metodológicos considerados en dicho estudio fueron los siguientes:

- Recopilación de información histórica de derrumbes y roturas de los canales, identificando los tipos de daños ocasionados y los trabajos realizados para mitigarlos.
- Estimación de los costos de reposición de las obras, tanto en los canales como en la zona urbana. Se incluyen costos de remoción de material, rellenos de socavación, compuertas y tramos de canal, viviendas, servicios básicos, pavimentos y alumbrado, entre otros. El costo promedio de los daños un evento en el área de estudio resultó ser $ 5.626.454.132[1].

  Para el presente estudio no se han considerado los daños en las zonas rurales, ya que según los antecedentes bibliográficos y los recopilados en terreno la ubicación de los puntos críticos se encuentran principalmente en el perímetro urbano de Catemu, afectando principalmente las casas y calles del pueblo que los terrenos agrícolas. Tampoco se consideraron efectos sobre la producción agrícola por la interrupción del servicio de los canales, ya que los eventos expuestos en el estudio del año 1996 suceden principalmente entre Julio y Agosto, en los cuales la demanda hídrica de los cultivos es mínima.
- Análisis estadístico de los eventos a partir de la ubicación, magnitud y recurrencia histórica de los daños en los canales en estudio. Esta información se utilizó para calcular la ocurrencia futura de daños, la que dio como resultados 0,9 veces para los 30 años del horizonte de estudio, es decir, 0,03 veces por año.

Teniendo todos los datos requeridos se determinó del daño evitado anual, multiplicando el costo de los daños de un evento promedio por la ocurrencia anual. El

[1] Valor Actualizado según UF desde Diciembre de 1994 a Julio de 2011.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

resultado final actualizado es de $168.793.624 por año, el que será utilizado en la presente evaluación.

Debe hacerse notar que este beneficio sólo será considerado para los fines de la evaluación a precios sociales, ya que representa el efecto del daño a la comunidad como un todo.

Este beneficio se considera en su totalidad para los Escenarios 2 y 5. Para los escenarios 1 y 4, se considera un 80% del total. Por último, para el Escenario 3 se considera un 20% del valor.

11.6.5. Beneficio Asociado el Valor Incremental de la Tierra

El paso desde una situación Sin Proyecto a una Con Proyecto implica un cambio en el uso del suelo, incrementando su valor productivo y por ende comercial. Es así como la incorporación de nuevas zonas a partir de la habilitación de terrenos sin uso y la implementación de cultivos intensivos, en mayor medida frutales, justifican esta variación.

El Cuadro 11.6.5-1 resume la variación del uso del suelo según cinco categorías de uso para los Escenarios 1 a 4. Para el Escenario 5, los resultados se presentan en el Cuadro 11.6.5-2.

CUADRO 11.6.5-1
CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO: ESCENARIOS 1 A 4

RUBRO	E1 0 a 1 ha	E2 1 a 5 ha	E3 5 a 10 ha	E4 10 a 20 ha	E5 >20 ha	Total
Situación Actual (ha)						
Frutales	38,7	187,7	462,5	327,5	757,2	1.773,6
Chacras y Hortalizas (Sin Rotación)	44,7	187,2	286,4	182,1	154,9	855,2
Praderas y Forrajes (Sin Rotación)	18,1	51,7	253,8	134,4	329,9	787,9
Forestal	0,0	0,0	0,0	26,2	0,0	26,2
Sin Uso	25,7	33,7	130,1	132,0	5.663,0	5.984,4
Situación Futura con Proyecto (ha)						
Frutales	40,3	188,0	468,15,6	339,1	748,7	1.791,7
Chacras y Hortalizas (Sin Rotación)	52,5	197,9	282,9	193,3	173,3	900,0
Praderas y Forrajes (Sin Rotación)	8,7	40,7	244,2	137,8	319,9	751,2
Forestal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sin Uso	25,7	33,7	130,1	132,0	5.663,0	5.984 4
Diferencia (ha)						
Frutales	1,6	0,4	13,1	11,6	-8,5	18,1
Chacras y Hortalizas (Sin Rotación)	7,9	10,7	-3,5	11,2	18,5	44,8
Praderas y Forrajes (Sin Rotación)	-9,5	-11,0	-9,6	3,4	-9,9	-36,7
Forestal	0,0	0,0	0,0	-26,2	0,0	-26,2
Sin Uso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio Agroeconómico

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 11.6.5-2
CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO: ESCENARIO 3

RUBRO	E1 0 a 1 ha	E2 1 a 5 ha	E3 5 a 10 ha	E4 10 a 20 ha	E5 >20 ha	Total
Situación Actual (ha)						
Frutales	38,7	187,7	462,5	327,5	757,2	1.773,6
Chacras y Hortalizas (Sin Rotación)	44,7	187,2	286,4	182,1	154,9	855,2
Praderas y Forrajes (Sin Rotación)	18,1	51,7	253,8	134,4	329,9	787,9
Forestal	0,0	0,0	0,0	26,2	0,0	26,2
Sin Uso	25,7	33,7	130,1	132,0	5.663,0	5.984,4
Situación Futura con Proyecto (ha)						
Frutales	42,8	198,2	508,5	409,0	1.159,3	2.317,9
Chacras y Hortalizas (Sin Rotación)	52,5	197,9	282,9	193,3	173,3	900,0
Praderas y Forrajes (Sin Rotación)	8,7	40,7	244,2	137,8	319,9	751,2
Forestal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sin Uso	23,1	23,6	97,2	62,1	5.252,3	5.458,3
Diferencia (ha)						
Frutales	4,1	10,5	45,9	81,5	402,1	544,2
Chacras y Hortalizas (Sin Rotación)	7,9	10,7	-3,5	11,2	18,5	44,8
Praderas y Forrajes (Sin Rotación)	-9,5	-11,0	-9,6	3,4	-9,9	-36,7
Forestal	0,0	0,0	0,0	-26,2	0,0	-26,2
Sin Uso	-2,5	-10,1	-32,8	-69,9	-410,7	-526,1

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio Agroeconómico

Luego de determinar las superficies se realizó una revisión de las compra-venta de terrenos de la base de datos de ODEPA[2] desde el año 2001. Los valores por hectárea se ordenaron de mayor a menor y se determinaron quintiles, los cuales se asignaron a cada una de las categorías. El Cuadro 11.3.5-2 presenta los valores obtenidos. Finalmente las superficies de cada escenario se multiplican por los precio/ha de cada categoría y se proyectan al horizonte de evaluación, es decir, 30 años (Cuadro 11.3.5-3). Es importante destacar que para la Situación Con Proyecto la gradualidad del cambio depende del tipo de cultivo y el estrato de tamaño predial. De esta forma las plantaciones frutales y forestales se estabilizan en tres años, las praderas en dos años y los cultivos anuales en cuatro años para los estratos menores a 5 ha y tres años para los estratos mayores.

[2] Que a su vez se confecciona a partir de la información de avisos en la Revista del Campo y clasificados del diario "El Mercurio".

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 11.3.5-2
PRECIO POR HECTÁREA TERRENOS SEGÚN CATEGORÍA DE USO

Categoría	Valor Terreno ($/ha)
Frutales	18.668.529
Chacras y Hortalizas	16.823.456
Praderas y Forrajes	11.827.757
Forestal	7.882.871
Sin Uso	4.901.597

Fuente: Elaboración propia a Partir de ODEPA.

CUADRO 11.3.5-3
VALOR INCREMENTAL DE LA TIERRA DEBIDO AL PROYECTO

	Escenario 1 a 4			Escenario 5		
Año	Valor SSP ($)	Valor SCP ($)	INCREMENTAL ($)	Valor SSP ($)	Valor SCP ($)	INCREMENTAL ($)
0	86.357.508.831	86.357.508.831	0	86.357.508.831	86.357.508.831	0
1	86.357.508.831	86.468.261.795	110.752.964	86.357.508.831	87.916.863.096	1.559.354.265
2	86.357.508.831	86.614.115.649	256.606.818	86.357.508.831	90.235.618.902	3.878.110.071
3	86.357.508.831	86.770.835.315	413.326.484	86.357.508.831	94.013.841.821	7.656.332.990
4	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
5	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
6	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
7	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
8	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
9	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
10	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
11	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
12	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
13	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
14	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
15	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
16	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
17	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
18	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
19	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
20	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
21	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
22	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
23	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
24	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
25	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
26	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
27	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
28	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
29	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567
30	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061	86.357.508.831	94.051.411.398	7.693.902.567

Fuente: Elaboración propia

11.6.6. Beneficio Asociado a las Transacciones de los Derechos de Aguas

En el método de las transacciones, se compara la situación sin proyecto con la situación con proyecto, y se determina el diferencial asociado. En este caso, en la situación Futura Sin Proyecto (SSP), los canales captan un máximo de 8,5 m³/s y en la Situación Con Proyecto (SCP) 12,92 m³/s[3].

Con el fin de obtener el efecto individual en el riego se ha establecido como supuesto que el caudal captado con proyecto sigue siendo 8,5 m³/s, considerando que el aumento de capacidad de canal matriz no tiene repercusiones en la zona de riego, debido a la capacidad de la red secundaria. El resto del caudal corresponde al uso hidroeléctrico, que en la actualidad es nulo.

Por otra parte, en los estudios tarifarios de ESVAL se determinó que el valor del agua crudo es de 81 UF/L/s para la zona de Catemu. Con esta cifra es posible calcular el beneficio de poder contar con estos nuevos recursos, sin la necesidad de invertir en ellos mediante la compra de derechos de otras fuentes u organizaciones, además aumentar el patrimonio y el volumen para las transacciones mercado interno del sistema de riego.

A partir de los antecedentes anteriores se determinó el beneficio asociado a las transacciones de derechos de agua en el Cuadro 11.6.6-1, y posteriormente en el Cuadro 11.6.6-2 se presentan los flujos asociados.

CUADRO 11.6.6-1
BENEFICIO POR TRANSACCIÓNES DE LOS DERECHOS DE AGUAS DEBIDO AL PROYECTO

Uso	Caudal Factible de Utilizar (m³/s)			Beneficio Anual	
	Situación Sin Proyecto	Situación Con Proyecto	Diferencial	UF	$
Riego	8,50	8,50	0,00	0,0	0
Hidroelectricidad	0,00	4,42	4,42	358.391,8	7.846.271.458
Total	**8,50**	**12,92**	**4,42**	**358.391,8**	**7.846.271.458**

Fuente: Elaboración propia y antecedentes de estudios tarifarios de ESVAL

[3] En SSP se considera la suma de las capacidades de los canales Arriba de Catemu (3 m³/s) Abajo de Catemu (2.7 m³/s) y Pepino o Huidobro (3 m³/s). Para la Situación Con Proyecto se utiliza la cantidad total de los derechos de aprovechamiento de Aguas que poseen los tres canales, los que son posibles de captar con el nuevo proyecto.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 11.6.6-2
BENEFICIO POR TRANSACCIONES DE DERECHOS DE AGUA: ESCENARIOS 1 A 5

	Escenario 1 a 4		
Año	Valor SSP ($)	Valor SCP ($)	INCREMENTAL ($)
0	86.357.508.831	86.357.508.831	0
1	86.357.508.831	86.468.261.795	110.752.964
2	86.357.508.831	86.614.115.649	256.606.818
3	86.357.508.831	86.770.835.315	413.326.484
4	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
5	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
6	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
7	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
8	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
9	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
10	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
11	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
12	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
13	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
14	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
15	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
16	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
17	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
18	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
19	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
20	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
21	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
22	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
23	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
24	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
25	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
26	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
27	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
28	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
29	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061
30	86.357.508.831	86.808.404.892	450.896.061

Fuente: Elaboración propia

11.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA EN EL ÁREA DE ESTUDIO

11.7.1. Introducción

En lo que sigue se presentan los resultados de la evaluación económica para los 5 escenarios anteriormente descritos, con sus respectivos costos y beneficios.

11.7.2. Resultados

En este acápite se presentan los resultados de la evaluación económica realizada con los métodos del Presupuesto, Valor Incremental de la Tierra y de las Transacciones de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 11.4.4-1 para los cinco escenarios planteados. En el Cuadro 11.4.4-2 se presenta un resumen con la rentabilidad del proyecto, indicando si es positiva o negativa.

CUADRO 11.4.4-1
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA

Precios de Mercado					
Tipo de Método	VAN (MM $)	VAN/Sup (MM $/ha)	IVAN	n/k	TIR (%)
1. Riego					
Presupuesto	-11.053,6	-3,1	-0,76	0,29	4,5%
Valor Incremental de la Tierra	-14.684,7	-4,1	-1,01	0,04	0,0%
Transacciones de Agua	-17.177,9	-4,7	-1,18	0,00	-
2. Riego+Hidroelectricidad					
Presupuesto	-6.961,5	-1,9	-0,30	0,70	10,6%
Valor Incremental de la Tierra	-10.920,9	-3,0	-0,48	0,53	7,0%
Transacciones de Agua	38.104,4	10,5	1,66	2,64	39,9%
3. Sólo Riego					
Presupuesto	-4.601,9	-1,3	-0,51	0,52	8,7%
Valor Incremental de la Tierra	-8.233,0	-2,3	-0,91	0,11	-2,1%
Transacciones de Agua	-10.726,2	-3,0	-1,18	0,00	-
4. Sólo Hidroelectricidad					
Presupuesto	-2.359,6	-0,7	-0,17	0,83	12,2%
Valor Incremental de la Tierra	-2.359,6	-0,7	-0,17	0,83	12,2%
Transacciones de Agua	48.830,6	13,5	3,53	4,46	66,8%
5. Riego+Hidroelectricidad+Red Secundaria					
Presupuesto	-2.353,0	-0,6	-0,08	0,92	14,1%
Valor Incremental de la Tierra	28.859,5	8,0	1,26	2,24	30,3%
Transacciones de Agua	38.104,4	10,5	1,66	2,64	39,9%
Precios Sociales					
Tipo de Método	VAN (MM $)	VAN/Sup (MM $/ha)	IVAN	n/k	TIR (%)
1. Riego					
Presupuesto	1.816,5	0,5	0,14	1,14	7,0%
Valor Incremental de la Tierra	-9.533,8	-2,6	-0,75	0,28	0,0%
Transacciones de Agua	-15.215,0	-4,2	-1,20	0,00	-
2. Riego+Hidroelectricidad					
Presupuesto	19.201,7	5,3	0,91	1,90	12,7%
Valor Incremental de la Tierra	7.163,1	2,0	0,34	1,34	9,0%
Transacciones de Agua	109.484,6	30,2	5,22	6,13	44,3%
3. Sólo Riego					
Presupuesto	7.840,4	2,2	0,98	1,95	11,7%
Valor Incremental de la Tierra	-3.509,9	-1,0	-0,44	0,57	1,8%
Transacciones de Agua	-9.191,1	-2,5	-1,15	0,00	-
4. Sólo Hidroelectricidad					
Presupuesto	11.361,3	3,1	0,87	1,86	13,1%
Valor Incremental de la Tierra	11.361,3	3,1	0,87	1,86	13,1%
Transacciones de Agua	118.675,7	32,8	9,13	9,96	71,4%
5. Riego+Hidroelectricidad+Red Secundaria					
Presupuesto	39.274,4	10,8	1,52	2,50	15,6%
Valor Incremental de la Tierra	98.172,3	27,1	4,68	5,60	33,2%
Transacciones de Agua	109.484,6	30,2	5,22	6,13	44,3%

(*) No existe efecto de la hidroelectricidad en el valor incremental de la tierra, por lo que el resultado es idéntico al método del presupuesto.

Nota: Referencia Valor UF $21.893, al 01/06/2011
Referencia Valor Dólar $468,15 al 01/06/2011

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Los resultados del Cuadro 11.4.4-1 muestran que el proyecto no es rentable a precios privados para el método del presupuesto para los 5 escenarios. Por otra parte, a precios sociales el proyecto es rentable para todos los escenarios. Adicionalmente para los escenarios que consideran aumento de los recursos en bocatoma el proyecto es rentable. Lo mismo ocurre para los escenarios que implican un aumento en la superficie regada.

CUADRO 11.4.4-2
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA
RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Escenario	Presupuesto		Valor Tierra		Transacciones	
	PM	PS	PM	PS	PM	PS
1	-	+	-	-	-	-
2	-	+	-	+	+	+
3	-	+	-	-	-	-
4	-	+	-	+	+	+
5	-	+	-	+	+	+

Fuente: Elaboración propia

Se hace notar que los indicadores de rentabilidad que se obtienen con los distintos métodos son diferentes, ya que enfocan el tema de los beneficios desde diferentes puntos de vista. En el primer caso, el efecto en la disponibilidad directa de dinero, en cambio los otros métodos miden el cambio en valor aparente del proyecto. Los resultados en detalle se presentan en el Anexo 11-1.

11.8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad, realizado solo para los resultados del método del presupuesto y para el Escenario 2 de riego más hidroelectricidad, se centra en el análisis de las siguientes variables.

- Costo de las obras de captación y conducción
- Costo de la minicentral hidroeléctrica
- Beneficios agrícolas
- Beneficios por generación eléctrica (venta de energía).

Las restantes variables presentes son de muy baja magnitud, por lo que no tienen grandes efectos en la rentabilidad del proyecto.

El Cuadro 11.8-1 resume las incrementos (valores positivos) o reducciones (valores negativos) porcentuales individuales de cada variable que provocarían que el proyecto se vuelva rentable a precios privados (TIR 15%) o no rentable a precios sociales (TIR 6%), es decir, el VAN alcance un valor igual a $0.

CUADRO 11.8-1
RESUMEN ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD
EVALUACIÓN MÉTODO PRESUPUESTO
ESCENARIO 2

Tipo de Precio	Variación Porcentual			
	Costo Obra	Costo MCH	B. Agrícola	B. Energía
Mercado	-48,55%	-83,69%	127,49%	60,46%
Sociales	154,60%	230,82%	-122,26%	-82,19%

Fuente: Elaboración propia

11.9. OTROS INDICADORES Y EXTERNALIDADES

El análisis que se presenta en lo que sigue, se centra en el Escenario 2, escenario que considera sólo un cambio marginal en la superficie de riego.

En primer lugar, debido al incremento de la superficie con seguridad de riego 85% de la Situación Con Proyecto se producen cambios en el uso del suelo hacia cultivos más rentables y estos mismos mejoran sus rendimientos con respecto a una Situación Sin Proyecto. Al año de plena producción (año 10 del horizonte de evaluación) el margen bruto promedio por hectárea es $3.854.111, en contraste con el mismo año de la Situación Sin Proyecto, en la cual el valor alcanza $3.492.822.

Junto con lo anterior, se destaca el mayor grado de comercialización que alcanzan los productos, más aún cuando el cambio de la estructura productiva se guía a uva de mesa, noga y palto, aumentando las exportaciones, tal como lo muestra el Cuadro 11.9-1.

CUADRO 11.9-1
AUMENTO EXPORTACIONES ÁREA DE ESTUDIO

Frutal	Superficie de Exportación (ha)			%
	SSP	SCP	Aumento	
Nogal	193,0	212,7	19,8	10,2%
Palto	236,8	238,9	2,1	0,9%
Uva de Mesa	257,4	261	3,6	1,4%

Fuente: Elaboración propia

No obstante lo anterior, se debe tener especial cuidado con no debilitar los mercados locales y regionales, ya que actualmente Catemu cumple un rol importante en el abastecimiento de insumos en la región de Valparaíso y Metropolitana, tanto de hortalizas y forraje.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Otro beneficio se percibe en el mercado de aguas, el cual poseerá un mayor volumen para ser transados en el sistema de riego, evitando además recurrir a comprar o arrendar derechos de aguas subterráneas, del estero Catemu u otro canal del sector.

Un aspecto importante a destacar es la generación de mano de obra agrícola en un escenario con proyecto versus la situación actual. En el Cuadro 11.9-2 es posible observar el balance de la generación de empleo agrícola permanente y temporal entre la Situación Actual y la Situación Con Proyecto, en el cual destaca el crecimiento de 6,78% del empleo permanente femenino mensual, respectivamente. A esto se suma el aumento de las jornadas temporales anuales femeninas en un 1,77%.

CUADRO 11.9-2
GENERACIÓN DE EMPLEO AGRÍCOLA

Tipo Jornada	SA	SF	Variación		
			Nº	% Total	% Anual
Jornadas Anuales Totales					
Masculinas	213.978	201.600	-12.377	-5,8%	-0,50%
Femeninas	55.802	90.006	34.204	61,3%	4,06%
Jornadas Anuales Permanentes					
Masculinas	134.437	131.889	-2.547	-1,9%	-0,16%
Femeninas	21.778	47.990	26.212	120,4%	6,81%
Empleos Mensuales Permanentes					
Masculinos	467	458	-9	-1,9%	-0,16%
Femeninas	76	167	91	119,7%	6,78%
Jornadas Anuales Temporales					
Masculinas	79.541	69.711	-9.830	-12,4%	-1,09%
Femeninas	34.023	42.016	7.992	23,5%	1,77%

Fuente: Elaboración propia

Estos datos dan entender un incremento en el dinamismo del uso de manc de obra femenina. Desde el punto de vista estacional este dinamismo se ve reflejado en el uso de mano de obra durante todo el año debido a la mayor diversidad de rubros presentes. Además en algunas épocas del año la zona de Catemu podría transformarse en un polo aún más importante de uso de mano de obra temporal.

Desde el punto de vista del medio construido, no se detectan efectos significat vos en los asentamientos humanos, ya que si bien afecta una vivienda básica, no altera los centros poblados de manera negativa. De hecho, tal como se mencionó anteriormente, el mejoramiento del canal disminuye el riesgo de siniestro producto del desborde del canal o por derrumbes desde los cerros.

Por otra parte el revestimiento del canal puede nivel freático debido a la menor recarga, pero este efecto es acotado, ya que se circunscribe a los 14 km de canal revestido y las descarga desde la MCH.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Finalmente los efectos en el medio ambiente deben ser minimizados y monitoreados en concordancia con lo indicado en el Volumen 5 y el Capítulo 10 del presente volumen, sobre Análisis Ambiental.

11.10. RECOMENDACIÓN DEL PROYECTO

Según el método del presupuesto, niguno de los escenarios es rentables a precios privados, situación que se revierte a precios sociales, donde todos los escenarios son rentables.

Por otro lado, los indicadores para el método del valor incremental de la tierra son negativos en todos los escenarios a precios privados y solo para el escenario 3 a precios sociales, lo que se explica por el hecho de que el proyecto no incorpora nuevos terrenos al riego y solo se produce un efecto menor en la estructura productiva del suelo agrícola. El escenario 5 revierte esta situación, ya que considera explicitamente un aumento de la superficie regada.

En último lugar, el método de las transacciones de los derechos de aprovechamiento de aguas, tanto a precios privados como sociales, resulta no rentable en los escenarios 1 y 3, correspondiente al riego, ya que el efecto potencial en esta actividad se ve mermado por la capacidad de la red secundaria de los canales. En los otros escenarios, en los cuales se encuentra involucrada la hidroelectricidad, las rentabilidades obtenidas son altas, debido a que el proyecto tiene un gran impacto en el uso del agua dado que la nueva bocatoma es capaz de tomar el total de los derechos disponibles, evitando la compra o arriendo de otros recursos y aumentando el volumen para generación. También se evita el pago de patente por el no uso del agua.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

11. evaluación económica 1

11.1. Introducción 1

11.2. Indicadores de Rentabilidad 1

11.3. Métodos de Evaluación 2

11.4. Escenarios de Evaluación 2

11.5. costos 3

11.5.1. Introducción 3
11.5.2. Costo de las Obras de Riego 4
11.5.3. Costos de la Minicentral Hidroeléctrica 6
11.5.4. Costos Ambientales 6
11.5.5. Expropiaciones 7
11.5.6. Costos de Operación 7

11.6. beneficios 8

11.6.1. Generalidades 8
11.6.2. Beneficios Derivados del Riego 8
11.6.3. Beneficios Derivados de la Generación Hidroeléctrica 15
11.6.4. Beneficios por Disminución del Daño por Siniestros 16
11.6.5. Beneficio Asociado el Valor Incremental de la Tierra 17
11.6.6. Beneficio Asociado a las Transacciones de los Derechos de Aguas 20

11.7. Evaluación Económica en el Área de Estudio 21

11.7.1. Introducción 21
11.7.2. Resultados 21

11.8. Análisis de Sensibilidad 23

11.9. Otros Indicadores y Externalidades 24

11.10. Recomendación del Proyecto 26

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CAPÍTULO 12

PARTICIPACIÓN CIUDADANA

12. PARTICIPACIÓN CIUDADANA

12.1. Introducción

La presente sección expone los resultados finales de las diversas actividades de Participación Ciudadana (PAC) y el diagnóstico de participación ciudadana que nace del análisis de los datos recolectados con los diversos instrumentos cualitativos generados para tal fin y desarrollados durante todo el Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento de Canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino; Segunda Sección del Río Aconcagua. Los resultados se presentan en su totalidad en el Volumen 4 de este informe.

El objetivo general del componente de participación ciudadana es Integrar a los actores sociales relevantes con presencia en el territorio de intervención, en el desarrollo del Proyecto, a través de distintos espacios de participación (entrevistas, talleres de trabajo, encuentros y otras actividades), que permitan, por una parte, informar a la comunidad y por otra, recoger sus inquietudes, intereses y opiniones, incorporándolas en el proyecto, cuando sea pertinente.

El Plan de Participación Ciudadana contó con cuatro tipos de actividades: (1) Revisión de antecedentes; (2) Talleres de participación ciudadana, (3) Reuniones de participación ciudadana; (4) Entrevistas semiestructuradas a actores clave. Todas ellas entregaron información fundamental para el desarrollo del Diagnóstico Territorial y el análisis de gestión participativa.

12.2. Descripción del área de Estudio

El área de estudio se encuentra inserta en la comuna de Catemu, Provincia de San Felipe, Región de Valparaíso. Corresponde específicamente a la zona agrícola de la comuna de Catemu. Ubicada a 85 km de Santiago y 95 km del puerto de Valparaíso.

Según el Censo 2002, la comuna de Catemu tenía 6.172 habitantes, con una población urbana que corresponde a más del 55%. En cuanto al ritmo de evolución de las poblaciones urbana y rural, se observa una paulatina contracción de la población rural, frente a la población comunal de carácter urbana.

Existe un movimiento migratorio, que en su mayoría afecta a la población adulto joven, con escasa diferencias de sexo, lo que se motiva por la búsqueda de mejores condiciones de vida y/o fuentes de empleo.

La comuna de Catemu presenta uno de los niveles más altos de la región de analfabetismo, además de presentar el menor promedio de escolaridad con 7,85 años. El

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

sistema educacional imparte educación en niveles de kinder a cuarto medio, y está constituido principalmente por la denominada Educación Municipalizada –la cual cubre aproximadamente en la actualidad unos 2/3 de la demanda total.

En la actualidad la Comuna de Catemu cuenta con dos establecimientos, en los que se centralizan las principales prestaciones de salud, las cuales son complementadas por estaciones médico rurales. En la actualidad la cobertura que brinda el Centro de Salud Municipal, presenta una cifra algo superior al 97% de su demanda, la población validada por FONASA, según grupos etáreos alcanza a 12.640 personas a nivel comunal, de cuyo total, solo menos del 8% corresponden a atenciones prestadas por la posta rural (ubicada en el sector de Cerrillos).

En relación a la vivienda, la comuna posee un 97,41% de viviendas clasificadas como casa. Respecto de la encuesta CASEN anterior (2006 respecto de 1998), han disminuido de manera importante las mediaguas y mejoras, pero han aumentado otras formas de habitabilidad precaria, como el vivir dentro de una pieza dentro de una vivienda.

El 96,25% de las viviendas cuentan con agua potable de la red pública y el 98,72% se encuentra conectado a la red pública. En cuanto al sistema de eliminación de excretas, solo un 39,25% de los hogares se encuentra conectado al sistema de alcantarillado, estando el resto conectado a fosa séptica u otro tipo de conexión, entre ellos letrina sanitaria, pozo negro o sistema de cajón.

A nivel comunal, el 15% de la población alcanza niveles de pobres no indigentes, presentandose sólo un 0,4% de la población comunal en situación de extrema pobreza (indigencia). El ingreso promedio por hogar, según la misma fuente, es de $374.950.

Las principales actividades económicas de la Comuna, se concentran en el sector de producción primario, es decir agricultura y minería. Actividades que en conjunto superan el 46,5% del total de mano de obra de la comuna de Catemu. Siendo la actividad agrícola la más importante para la mayoría de los sectores, representada mayoritariamente por huertos frutales y hortalizas. Dentro del sector secundario la construcción y manufactura son los rubros más relevantes, dejando con menor importancia a los rubros relacionados con la energía y vivienda. En el sector terciario se destaca el comercio por sobre los demás, seguido por el transporte y telecomunicaciones, y la educación.

12.3. Diagnóstico del Territorio

En el área de existe una Unión Comunal y 26 Juntas de Vecinos; una Asociación de Futbol, 15 Clubes Deportivos, 2 Clubes de Huasos y 2 organizaciones ligadas al rodeo; 14 Centros de Madres; 18 Clubes de Adulto Mayor y 6 Clubes de Jóvenes. Además se presentan al menos 38 empresas y asociaciones productivas de diverso tamaño.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En cuanto a las entidades públicas con presencia en el territorio, las autoridades regionales ligadas al Estudio corresponden al Intendente de la Región de Valparaíso, Raúl Celis Montt; a la Gobernadora Provincial de San Felipe, Patricia Boffa Casas; al Consejo Regional, cuyos representantes provinciales son Nelson Contador Órdenes, Iván Reyes Figueroa y Eduardo León Lazcano. Además en cargos de representación popular están los Senadores Lily Pérez San Martín e Ignacio Walker Prieto; y los Diputados Marco Antonio Núñez y Gaspar Rivas Sánchez.

En relación con el Estudio también se encuentran los Secretarios Regionales Ministeriales de Agricultura (s)[1], Pablo Mira Gazmuri y de Obras Públicas, Pedro Sariego Pastén.

El Alcalde de la I. Municipalidad de Catemu es Boris Luksic Nieto; y los representantes ante el Concejo Municipal son Pablo Pacheco, Luis Carvajal, María Sánchez, María Salas, Aurora Medina y Claudio Núñez.

En la comuna se desarrollan diferentes programas sociales de financiamiento estatal y financiamiento compartido con la Municipalidad, además de programas de fomento productivo, entre los que se destaca el PRODESAL.

Existen tres tipos de organizaciones de usuarios de agua: una Junta de Vigilancia, dos Asociaciones de Canalistas y una Comunidad de Agua. Junto con esto en la comuna existen 6 comités de agua potable rural.

La constitución de la Junta de Vigilancia de la Segunda Sección de la Cuenca del río Aconcagua (2002) ha sido objetada por la Dirección General de Aguas en varias ocasiones, teniendo como consecuencia que esta organización no se encuentre inscrita en el Catastro Público de Aguas o en el Registro de Organizaciones de Usuarios, sin embargo –en la práctica- esta organización opera habitualmente y es aceptada por todos los actores públicos y privados relacionados con la gestión del agua.

Existen dos Asociaciones de Canalistas: Asociación de Canalistas Arriba de Catemu y Abajo de Catemu, la primera fue constituida hace aproximadamente 168 años y la segunda hace unos 146 años. Ambas funcionan administrativamente en las mismas oficinas.

La Comunidad de Aguas Pepino o Huidobro está formalmente constituida desde 1991, sin embargo los derechos no se encuentran perfeccionados, ya que no se indica una equivalencia en caudal, según lo que exige el código de aguas.

[1] Está anunciado por parte del Ministerio de Agricultura, que a partir del 28 de mayo de 2012, asumirá como SEREMI de Agricultura para la Región de Valparaíso, el Sr. Francesco Venezian Urzúa.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Otra organización de usuarios de agua, pero que no corresponde a una organización definida por el código de aguas, es la Corporación Confederación del río Aconcagua, la que es aceptada como un referente para la discusión y proposición de soluciones a los problemas que abarcan a la cuenca del río Aconcagua en su globalidad.

12.3.1. Análisis de Actores Relevantes en el Territorio

Este punto se elabora en base a las distintas fuentes de información descritas en el presente informe y fundamentalmente a partir de las nueve entrevistas semi-estructuradas aplicadas y posteriormente analizadas.

El INDAP muestra una activa presencia en el territorio, especialmente en materia de regularización de derechos de aprovechamiento de aguas. Esta institución –a través de su autoridad regional- demuestra la preocupación por la ausencia de una organización en la segunda sección del río Aconcagua.

El SEREMI de Agricultura , también da cuenta de su preocupación por la falta de una Junta de Vigilancia en la segunda sección del río Aconcagua, destacando en forma positiva la gestión del recurso hídrico que realizan las organizaciones de usuarios de aguas de base.

El Director Regional de la DGA destaca que los proyectos solo podrán concretarse una vez que el proyecto se ajuste a las inscripciones de derechos y caudales disponibles en las bocatomas del río Aconcagua. Pone de manifiesto la posibilidad de objeciones por parte de los usuarios de la tercera sección del río.

La Gobernadora Provincial de San Felipe destaca en este tipo de proyectos el uso más eficiente del recurso hídrico y la posibilidad del multiuso de éste. Al igual que otros actores relevantes, destaca la necesidad de conformar o validar una Junta de Vigilancia para la segunda sección del río Aconcagua.

A nivel de autoridades municipales las posiciones son claramente favorables al potencial proyecto de mejoramiento planteado en el presente Estudio. Se plantean ciertas debilidades de las OUA's que debieran tomarse en consideración para efectos de proyectos de envergadura.

12.4. Identificación y Caracterización de Actores Relevantes

Para la identificación y caracterización de actores relevantes, se realizaron 9 entrevistas semi estructuradas a "informantes clave", entre los que cuentan autoridades regionales, provinciales, comunales y dirigentes de organizaciones de usuarios de aguas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En términos generales, se percibe el Valle de Catemu como un área privilegiada en términos agrícolas, con un grado importante de desarrollo del rubro. En ello se desataca por parte de los entrevistados, las favorables condiciones climáticas así como también la disponibilidad de agua de riego. Complementariamente, existe una considerable actividad minera en el área así como también ganadería, turismo rural, entre otras actividades económicas

En el contexto de la Provincia de San Felipe, la comuna de Catemu es percibida como un lugar apartado ya sea por su ubicación geográfica y/o conectividad. En cuanto a la situación medioambiental, existe una fuente de contaminación histórica en el valle por la operación de la fundición Chagres que puede de una u otra forma condicionar la producción agrícola en la zona.

En relación específicamente a la situación de riego en el área, a juicio de los/as entrevistados/as es posible identificar falencias al menos en tres aspectos: tecnificación del riego, deficiente gestión del recurso hídrico (distribución), infraestructura de captación en el cauce natural.

A nivel organizacional por su parte, si bien se observa un interesante nivel de gestión al interior de los "canales", las dificultades mayores se dan en el ámbito de la segunda sección del río Aconcagua, donde es posible constatar un importante grado de antagonismo entre las organizaciones de los canales que son parte del presente proyecto, y la junta de vigilancia en proceso de conformación legal. Cabe consignar, que dicho intento de constitución formal data del año 2002, donde la Dirección General de Aguas en el 2007 emite un último oficio y al no tener respuesta, se cierra el expediente en el año 2009.

12.4.1.1. Identificación y Caracterización de Actores

A nivel de secciones del río Aconcagua se hace ver por parte de algunos/as entrevistados/as, una cierta correlación inversa entre la disponibilidad de agua y el grado de fortaleza de las organizaciones usuarios de aguas. Así entonces, se indica que por tratarse –en general, la segunda sección del Río- de sectores en los que históricamente ha existido mayor disponibilidad del recurso hídrico para fines de riego, éstas organizaciones serían comparativamente más débiles que las OUA's de otras secciones del río Aconcagua.

Más allá de las posibles explicaciones que sea posible atribuir, -para el caso- lo relevante es que la sección del río a la que pertenecen los canales que forman parte del presente proyecto, no cuentan con una junta de vigilancia válidamente generada. Esta situación genera al menos dos tipos de dificultades, por una parte la no representación de la sección en determinadas instancias en las que si concurren las juntas de vigilancia de las secciones que cuentan con éstas de manera regular. En su defecto y también como indudable fuente de conflictos, concurre y es reconocida por ciertas autoridades públicas de la Región una proto-organización compuesta por el grupo de personas que promueve la

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

conformación de una junta de vigilancia para la segunda sección del río Aconcagua, desde el año 2002 y que hasta la fecha no han podido concretar dicha intencionalidad. Recientemente por ejemplo y a instancias del SEREMI de Obras Públicas, la junta de vigilancia "de hecho" asistió en representación de la sección a las instancias de coordinación entre las secciones, que finalmente derivó en el incumplimiento de los compromisos asumidos entre las partes y la posterior intervención del río por parte de la DGA.

Evidentemente la no conformación de la junta de vigilancia en esta sección del río es un problema, la escasa gestión de las aguas y los sistemas irregulares de captación es una traba para dar cumplimiento a cualquier tipo de regularización, no existen bocatomas debidamente inscritas y los sistemas de distribución son bastante precarios. A pesar de su precariedad, existe un manejo organizacional de los canales, existe buen nivel de conocimiento y utilización de los instrumentos públicos a disposición de las organizaciones.

12.4.1.2. Disposición Frente al Proyecto

En términos generales y en una primera lectura al menos, no es posible identificar "oposiciones" a una iniciativa como la propuesta por el proyecto (de unificación de bocatomas, generación hidroeléctrica). Es más, en varias de las entrevistas, se plantea que un proyecto de este tipo va precisamente en la línea de desarrollo que sus respectivas instituciones pretenden impulsar. Particular mención se realiza a la relevancia y también necesidad de compatibilizar en paralelo distintos usos del recurso hídrico.

Aún cuando la disposición generalizada es favorable frente a la iniciativa propuesta por el proyecto, se plantean algunos nudos críticos necesarios de considerar y prestarles particular atención. En un primer término, se plantea la necesidad de definir con claridad y de forma previa a la puesta en marcha, la priorización de los usos que se dará al vital elemento en el posible escenario en que no resulte compatible darle más de un uso. En caso de que la generación eléctrica pudiese representar una mayor rentabilidad que el uso agrícola, por ejemplo y tal como plantea una de las entrevistadas.

Por otra parte -y esta vez en el área más bien técnico-legal-, se plantea la potencial incongruencia o al menos diferencias importantes, entre las expectativas en cuanto a volumen de agua que pudiesen presentar las OUA's involucradas y las restantes organizaciones de la Cuenca del Río Aconcagua, así como también en relación a los criterios de la Dirección General de Aguas. Esta situación se plantea tanto desde el punto de vista estrictamente legal (derechos de aprovechamiento de aguas en cuestión), así como también desde una perspectiva técnica, es decir, disponibilidad de caudales.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

12.5. Sistematización del Desarrollo del Plan de Participación

12.5.1. Reuniones y talleres

12.5.1.1. Actividades iniciales

Como primera actividad se realizó una búsqueda, selección y generación de contactos con informantes claves, con la identificación de "porteros" que facilitan la entrada a algunas instituciones y actores, que además determinan la forma de iniciar el trabajo en terreno.

El contacto inicial se desarrolló con la Asociación de Canalistas de los Canales Arriba y Abajo de Catemu, como el principal organismo que agrupa a los regantes, considerado como "portero" para el presente estudio, luego de conversaciones y una reunión inicial de presentación del proyecto y del equipo trabajo, tanto dirigentes como funcionarios/as de la Asociación han colaborado en la identificación y contacto de actores relevante para las posteriores actividades de participación ciudadana.

Al principio se realizó una reunión inicial con los dirigentes de los canales, profesionales de la inspección fiscal de la CNR y de la consultora (Primer Taller de Trabajo). Posteriormente se realizó una visita a terreno para ver in situ las propuestas de los dirigentes; al comienzo se realiza una reunión breve principalmente para revisar las alternativas planteadas en los estudios anteriores y comentar los puntos en donde se debe poner énfasis al momento de estudiarlas, luego se toma rumbo a los sectores donde teóricamente están trazadas las obras futuras, permitiendo algunas paradas intermedias en donde se señalan distintas problemáticas en el área de estudio, en síntesis, en el recorrido los representantes de los canales proponen algunas modificaciones a las alternativas y señalan los sectores donde se generan los principales problemas de embancamiento desbordes, problemas de conducción y derrumbes de laderas de cerro que se pretenden evitar con el proyecto, además de los lugares que podrían tener mejor caída para la hidrogeneración considerando el desnivel del terreno y las alternativas de unificación.

12.5.1.2. Primera Reunión Ampliada de Participación Ciudadana

El día 9 de junio de 2011 se realiza la primera asamblea de Participación Ciudadana, en la que se expone la información general del estudio, los detalles técnicos, los objetivos, las distintas etapas, plazos y alcances de la etapa de prefactibilidad. A esta reunión asistieron aproximadamente 50 personas, entre los que se cuentan 3 autoridades regionales, 16 funcionarios municipales (incluido el Alcalde), 16 socios canalistas, 4 socios de organizaciones comunitarias, 4 funcionarios de la CNR y 6 funcionarios del equipo consultor. Tuvo una duración de aproximadamente 3 horas y finalizó con un refrigerio para los asistentes.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se explica que el resultado final de la etapa de prefactibilidad es seleccionar cuál es la mejor alternativa de mejoramiento para los canales, según criterios de rentabilidad y beneficios asociados para los principales afectados. Se describe el área de estudio y el diagnóstico preliminar que el consultor ha realizado. Se presentan las 3 alternativas estudiadas como obras de mejoramiento, unificación y generación hidroeléctrica para los 3 canales involucrados.

La asamblea permitió generar espacios de diálogo entre la comunidad, el mandante (CNR) y la consultora a cargo del estudio. Los comentarios se centraron principalmente en las alternativas estudiadas, destacándose las de mantener las bocatomas de los canales Debajo de Catemu y Pepino (o Huidobro), que en tiempo de sequía permiten captar los afloramientos que emergen en ese lugar; se propone también realizar una obra capaz de captar todos los derechos de agua que tienen los canales para la hidrogeneración, evitando las multas por no uso que según la entrada en vigencia del Código de aguas debieran cancelar los canales; se pone de manifiesto la preocupación por la regularización y perfeccionamiento de los derechos de aguas.

Se preparó una encuesta de evaluación de la reunión, auto-aplicada, la que constó de cinco preguntas relacionadas con distintos aspectos de su desarrollo, como lugar de reunión, horario, claridad de la metodología de exposición, evaluación general de la actividad, además de una pregunta abierta para sugerencias y observaciones específicas. De un total de 51 asistentes, se recibieron 32 encuestas, en que la mayoría opina que el lugar donde se realizó la actividad es excelente o bueno, dentro de las recomendaciones están poner calefacción para hacerlo más acogedor y buscar un lugar que tenga estacionamiento; cerca del 60% de los encuestados señala que el horario es bueno; general la metodología de exposición se evaluó como buena; y la actividad se evaluó como "buena" o "excelente" en el 93,7% de los casos.

12.5.1.3. Segundo Taller de Trabajo con Dirigentes

A este Taller de Trabajo asistieron representantes del canal Abajo de Catemu, Arriba de Catemu y Pepino o Huidobro, además de personas de la Comisión Nacional de Riego y la consultora Arrau Ingeniería EIRL.

En él se presentó un análisis de las alternativas estudiadas y se resolvieron dudas de carácter técnico, financiero y legal.

12.5.1.4. Segunda Reunión Ampliada de Participación Ciudadana

Esta reunión fue realizada el día 8 de marzo a las 16 horas en el Salón de la Biblioteca Municipal de la I. Municipalidad de Catemu. La reunión tiene por objetivo presentar los trabajos de terreno desarrollados durante el estudio y alternativa seleccionada, con sus fundamentos técnicos, ambientales y económicos. A esta reunión asistieron 51 personas, que corresponden a autoridades regionales, provinciales y comunales, personal de la I.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Municipalidad de Catemu, 19 socios Canalistas, representantes de organizaciones comunitarias y Cooperativas de Agua Potable Rural, además de 3 personas de la CNR y 6 del equipo consultor. Tuvo una duración de aproximadamente 3 horas y finalizó con un refrigerio para los asistentes.

En la exposición se explican las principales características del proyecto, sus alcances, plazos, objetivos y etapas. Se explica el ciclo de vida de un proyecto y las etapas del proceso de PAC. Se entregan los resultados principales de los estudios básicos (diagnóstico); el análisis de alternativas, el análisis ambiental y económico de ellas; los estudios de terreno, estudios básicos y agroeconómicos, el estudio de mecánica de suelos; la solución definitiva estudiada, el modelo de simulación del sistema de riego, y las conclusiones y recomendaciones del estudio.

Lo comentarios se centraron especialmente en la disponibilidad de agua en escenarios de sequía y la seguridad de riego frente a este tipo de situaciones, y la complementación de producción de energía y riego.

La evaluación de la actividad se realizó a través de una encuesta auto-aplicada, que constó de cinco preguntas relacionadas con el lugar de reunión, el horario, la claridad de la exposición, además de una pregunta abierta para sugerencias y observaciones específicas. Se recibieron 34 encuestas, en las que la mayoría expresó que el lugar en que se realizó la actividad es excelente o bueno, que el horario es regular o bueno, que la metodología es buena o excelente y la calificación general de la actividad fue evaluada como buena por el 58,82% y como excelente por un 38,24%.

12.5.1.5. Tercera Reunión Ampliada de Participación Ciudadana

El día 16 de mayo de 2012, a las 11 horas, en el Salón de la Biblioteca de Catemu, se realiza la tercera y última asamblea de Participación Ciudadana. El objetivo de ésta es entregar los principales resultados del estudio. A esta reunión asistieron 40 personas entre autoridades, representantes de diversas organizaciones y futuros beneficiarios del proyecto, entre ellos 4 personas del equipo consultor y 2 personas de la CNR. Tuvo una duración de aproximadamente 3 horas y finalizó con un refrigerio para los asistentes.

En su saludo inicial, Boris Luksic resalta el potencial que representa aportar a la matriz energética del país, destacando que este tipo de proyectos son amigables con el medio ambiente y con bajo nivel de conflictividad, que significaría un muy buen negocio para la Asociación de Canalistas.

Cristian Rodriguez explica a los asistentes dos alternativas para las próximas etapas del estudio: la primera es seguir el curso habitual del estudio, haciendo las etapas de factibilidad y diseño con el apoyo de la Dirección de Obras Hidráulicas; la segunda y

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

recomendada por él es tomar este estudio técnico y presentarlo a desarrolladores de proyectos hidroeléctricos por parte de la Asociación de Canalistas, con el apoyo de la CNR.

En la presentación se explican las principales características del proyecto, sus alcances, plazos, objetivos y etapas. Se explica el ciclo de vida de un proyecto y las etapas del proceso de PAC. Se entregan los resultados principales de los estudios básicos (diagnóstico); el análisis de alternativas, el análisis ambiental y económico de ellas; los estudios de terreno, estudios básicos y agroeconómico, el modelo de simulación del sistema de riego, la evaluación económica, el escenario de evaluación nº 5 (riego + energía) y las conclusiones y recomendaciones del estudio.

Los comentarios ocurridos luego de la presentación se centraron en dudas sobre temas legales asociados al traslado de aguas producto de la unificación de los canales.

La encuesta de evaluación de la reunión, constó de cinco preguntas y fue aplicada a 24 personas. El lugar donde se realizó la actividad fue evaluada como buena o excelente en el 95,8% de los casos, el horario en el que se realizó la actividad fue evaluado como bueno o excelente por el 83,33% y un 16,67% como regular, la metodología utilizada fue calificada como buena o excelente por un 95,83% y la evaluación de la actividad fue calificada como buena por un 58,33% y como excelente por un 41,67%.

12.6. CONSIDERACIONES GENERALES

En primer término, se ha podido constatar un alto grado de "conocimiento técnico" de parte de la dirigencia y líderes de las OUA's involucradas, en torno a temáticas de recursos hídricos en general y en torno a infraestructura de riego, en particular. Dicha situación es posible extender a su vez a otros actores involucrados en el desarrollo del proyecto, como es el caso del Alcalde de la Comuna (Sr. Boris Luksic), quien posee dilatada experiencia como dirigentes de organizaciones de usuarios de aguas así como también prestando asistencia técnica a este tipo de organizaciones. Así entonces, el mencionado grado de conocimiento técnico entre distintos actores involucrados, hace prever la existencia de una "base social" informada y opinante frente a las próximas etapas en las que pudiese entrar el presente proyecto.

En directa relación con el punto recién planteado, también ha sido posible constatar un alto grado de interés entre los distintos actores en torno al desarrollo del proyecto, donde los regantes, funcionarios públicos e incluso autoridades regionales y locales, plantean una cantidad importante de observaciones y sugerencias.

Durante el desarrollo del Estudio no ha sido posible identificar a ningún actor social y/o institucional, que explicite su oposición al Proyecto, ni siquiera alguno "particularmente crítico" frente a éste.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Las aprehensiones detectadas se pueden encontrar en dos ámbitos. La situación legal en cuanto a los derechos de aprovechamiento de aguas tanto al interior de las organizaciones, la situación en cuanto a perfeccionamiento de los derechos para las organizaciones en su conjunto así como la situación más global de la segunda sección del río Aconcagua y la distribución del caudal entre la totalidad de las OUA's que allí interactúan. La real capacidad "organizacional" que tendrían las dos asociaciones de canalistas más la comunidad de aguas tanto de manera individual, así como de la sumatoria de éstas a través de la figura de la Asociación de Canales Unidos de Catemu.

Aún cuando en etapas posteriores de la implementación de este proyecto, pudiesen "aparecer" actores contrarios al mismo, la sola no existencia hasta ahora (en etapa de prefactibilidad), permite proyectar un escenario de baja conflictividad.

En relación con la "situación legal" de los derechos de aprovechamiento de aguas entre los usuarios de las tres comunidades involucradas se deben regularizar transferencias, posesiones efectivas y similares. Además, es el necesario y urgente proceso de perfeccionamiento de derechos que deberá acometer la Comunidad de Aguas Canal Pepino ó Huidobro. Si bien los dirigentes tanto de esa comunidad, así como de las otras dos OUA's involucradas (canal Abajo y canal Arriba de Catemu), poseen perfecta conciencia de esta situación y su implicancia en potenciales retrasos en la concreción del mejoramiento del conjunto de los canales, se ha venido generando a la par del desarrollo del estudio de prefactibilidad una suerte de distanciamiento entre las tres OUA's. Es decir, se viene marcando una cierta tendencia que es posible anticipar que se pueda eventualmente agudizar en el tiempo, en la que las Asociaciones de Canalistas Canal Arriba y Canal Abajo de Catemu se van progresivamente alineando en cuanto por ejemplo a tiempos, plazos y prioridades para el mejoramiento de sus canales, mientras que por otro lado la Comunidad de Aguas Canal Pepino ó Huidobro, se va quedando relegada en tanto no puede mantener el ritmo sugerido por las otras dos OUA's. En síntesis, mientras el canal Pepino no regularice su situación jurídico – organizacional asociada al perfeccionamiento de sus derechos, seguirá estando en situación desmejorada frente a las otras dos asociaciones, que por lo demás muestran a simple vista un "mejor" desempeño organizacional e indudablemente, una mejor situación técnico – jurídica.

12.7. ANÁLISIS DEL PROCESO PAC Y PRINCIPALES CONCLUSIONES

Tal como ha sido posible apreciar, durante la implementación del Proyecto se realizó un número importante de actividades específicamente de participación ciudadana, concatenadas entre sí y en función de una secuencia lógica. En ellas, junto con la activación de múltiples dispositivos de levantamiento de información / inquietudes de la comunidad, se ha desplegado una secuencia permanente de generación de espacios informativos y consultivos. Es decir, en el caso de las reuniones con la comunidad por ejemplo, se realiza un primer encuentro (Inicial) donde se dan a conocer los principales componentes del Estudio a desarrollar, luego en la Reunión Intermedia se informa de los principales avances a

esa fecha para finalmente, en la Reunión Final, dar a conocer los resultados globales del Estudio. En cada una de esas instancias, se logró generar espacios de retroalimentación posteriores a la entrega de información en los que los/as participantes pudieron dar a conocer sus inquietudes, observaciones y comentarios en general. Adicionalmente, fue posible realizar acciones intermedias, entre dichas reuniones ampliadas, que en formato de "talleres", permitió ir alineando posiciones con dirigentes y líderes de las organizaciones de usuarios de aguas, previamente a la realización de las reuniones ampliadas, donde se suman los propios usuarios de los canales así como distintos y diversos otros actores del territorio.

A continuación, se relevan aquellos aspectos que han incidido como facilitadores u obstaculizadores del proceso de participación ciudadana desarrollado en el marco del Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento de Canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, Segunda Sección del Río Aconcagua:

Facilitadores: Un primer elemento facilitador, es el que guarda relación con la Asociación de Canales Unidos de Catemu, tanto en términos de disposición general frente al Proyecto así como en cuanto a los recursos con los que cuenta y puso a disposición del buen desarrollo del Estudio. La Asociación de Canales Unidos de Catemu, aparece como un actor activo y relevante en el quehacer comunitario, con efectiva capacidad de vincularse con distintas entidades tanto públicas como privadas. En términos de gestión, cuenta con personal que realiza una administración y registro prolijo de usuarios, pagos de cuotas y otros aspectos propios de la operación de organizaciones de usuarios de aguas.

Un segundo aspecto relevante de tener en consideración, es el sólido respaldo político – institucional con el que ha contado la iniciativa. Ejemplo de ello, es la activa y numerosa presencia de funcionarios y autoridades públicas en las reuniones con la comunidad, donde sin duda destaca la participación permanente y constante del Alcalde de la I. Municipalidad de Catemu. La unánime disposición favorable hacia el Proyecto por parte de las distintas autoridades, ha facilitado el desarrollo de la etapa de prefactibilidad.

Otro elemento favorable en el desarrollo de las actividades de participación ciudadana, es el considerable nivel de conocimientos "técnicos" que muestra un porcentaje mayoritario de líderes y dirigentes de las tres organizaciones de usuarios involucradas. Es decir, hay un muy interesante "piso" común de manejo específico en el ámbito del riego por parte de los dirigentes de las organizaciones de regantes, situación que permitió hacer más fluida y precisa la comunicación entre éstos, la CNR y el propio equipo consultor, en aspectos tales como análisis de las distintas alternativas, por mencionar sólo un ejemplo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Obstaculizadores: Un primer aspecto a mencionar y que a su vez es también una de las primeras dificultades que se debió enfrentar iniciado el Proyecto, es la (muy) escasa disponibilidad de información secundaria específica en torno al área de influencia del Proyecto. A pesar de las múltiples gestiones al respecto, el acceso a información secundaria fue restringido y en muchos casos parcial, situación que a su vez obligó a generar un mayor volumen de información primaria en relación a lo originalmente previsto.

Otro aspecto que también ha significado un desafío, tiene que ver con la escasa diferenciación en el "ejercicio" organizacional de la asociación que agrupa a las OUA's de los tres canales (la Asociación de Canales Unidos de Catemu) v/s el desempeño de cada una de éstas OUA's en forma individual. Esta situación, en lo concreto significa que en muchas ocasiones los límites de la gestión que debe desarrollar la Asociación de Canales Unidos en relación a la que debe desempeñar cada una de las dos asociaciones de canalistas y la comunidad de aguas de manera autónoma e independiente, son muy difusos, cuestión que genera confusiones y ausencia de límites claramente establecidos.

12.8. CONSIDERACIONES MÍNIMAS PARA ETAPAS FUTURAS

El objetivo de la factibilidad, que corresponde a la próxima etapa en el ciclo del proyecto buscará determinar el impacto ambiental, social y territorial del proyecto y sus medidas de mitigación, reparación, compensación, contingencia, prevención de riesgos, y control y seguimiento. Para esta etapa, la actualización del diagnóstico debe identificar requerimientos y actividades necesarias para habilitar a los usuarios del agua en la explotación de las obras de riego. Es precisamente allí, donde se sugiere poner el énfasis en futuras acciones PAC en el área, es decir, resulta de suma importancia generar un plan de "fortalecimiento organizacional" para que las OUA's directamente involucradas en el proyecto, adquieran las necesarias herramientas y habilidades que requieren para la futura administración y/o gestión de las obras asociadas a esta iniciativa, que como bien es sabido no es posible asociar exclusivamente a "obras de riego" en una concepción tradicional, sino que en este caso incluirían una "mini central" generadora de electricidad.

En relación a las recomendaciones más específicas para etapas futuras y en función de los aprendizajes obtenidos en el transcurso del presente Estudio, se sugiere:

a). Incorporar un componente de capacitación y/o fortalecimiento organizacional en futuras implementaciones PAC en el área del Estudio, puesto que aún cuando la Asociación de Canales Unidos de Catemu muestra una cierta robustez en términos de gestión administrativa, el panorama al interior de las asociaciones de canalistas y la comunidad de aguas, que la componen, es bastante disímil y heterogéneo. Este componente de capacitación / fortalecimiento organizacional, irá siendo cada vez más necesario en la medida de que los nuevos desafíos

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

organizacionales asociados a la potencial construcción de las obras de riego – incluida la mini central- demanden la instalación de capacidades con las que hoy no cuentan. A su vez, es posible observar algunos aspectos deficitarios generalizados entre las distintas comunidades de aguas, como es el caso del tema de la regularización de derechos de aprovechamiento, asi como el perfeccionamiento de los derechos ya inscritos, donde el caso del canal Pepino ó Huidobro es el más complejo.

b). Se sugiere también para próximas etapas, la generación de algunas actividades PAC de carácter diferenciado (segmentado), de forma complementaria a actividades generales. Ello, en función de la amplia dispersión de intereses e inquietudes entre los distintos "tipos" de regantes (pequeños propietarios, parceleros, empresarios agrícolas y grandes empresas agrícolas). En lo concreto, se plantea la realización de al menos una actividad acotada a los "tipos" sugeridos u otros, que permita levantar información primaria especifica. Ello, a través de entrevistas grupales, por ejemplo.

c). Un aspecto necesario de tener permanentemente en consideración, es la suerte de "equilibrio precario" que actualmente muestra la conformación de la Asociación de Canales Unidos de Catemu, donde como se señalaba con anterioridad, se observa una cierta tendencia en la que la Comunidad de Aguas Canal Pepino ó Huidobro se ve en situación desmejorada en relación a las otras dos organizaciones que forman parte de esta plataforma de regantes de Catemu.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniera.cl

12. PARTICIPACIÓN CIUDADANA 1

12.1. Introducción 1

12.2. Descripción del área de Estudio 1

12.3. Diagnóstico del territorio 2

12.3.1. Análisis de Actores Relevantes en el Territorio 4

12.4. Identificación y Caracterización de Actores Relevantes 4

12.4.1.1. Identificación y Caracterización de Actores 5

12.4.1.2. Disposición Frente al Proyecto 6

12.5. Sistematización del Desarrollo del Plan de Participación 7

12.5.1. Reuniones y talleres 7

12.5.1.1. Actividades iniciales 7

12.5.1.2. Primera Reunión Ampliada de Participación Ciudadana 7

12.5.1.3. Segundo Taller de Trabajo con Dirigentes 8

12.5.1.4. Segunda Reunión Ampliada de Participación Ciudadana 8

12.5.1.5. Tercera Reunión Ampliada de Participación Ciudadana 9

12.6. Consideraciones Generales 10

12.7. Análisis del Proceso PAC y Principales Conclusiones 11

12.8. Consideraciones Mínimas para Etapas Futuras 13

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CAPÍTULO 13

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1. CONCLUSIONES

- Se ha realizado un proyecto de prefactibilidad del Mejoramiento de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, consistente en la unificación de estos canales en un tramo de 15 km de longitud aproximadamente. La obra de entrega a los canales Abajo de Catemu y Pepino, es aprovechada para generar hidroeléctricamente las aguas disponibles según derechos, en las épocas en que no son utilizadas para el riego.

- El mejoramiento permite además, evitar pérdidas por conducción, disminuir costos de operación y mantenimiento, y disminuir riesgos de daños por colapso de las obras en las épocas de temporales, entre otros beneficios. En general, la principal problemática que permite resolver el presente proyecto es básicamente la siguiente:

  - Inestabilidad de las laderas de los cerros (Sector Puntilla las Máquinas).
  - Embancamiento y derrames de los canales.
  - Problemas de captación.
  - Elevadas pérdidas de agua por conducción (Canal Arriba de Catemu: Pérdidas 50% aprox., Laprox=50 km).
  - Déficit en la capacidad de conducción (Capacidad de los canales < derechos constituidos).
  - Infraestructura en mal estado (alrededor del 40% del total).
  - Problemas de seguridad de riego (Asociados a la infraestructura en mal estado).
  - Abundante vegetación al interior de los canales y difícil acceso.
  - Altos costos en operación, mantención y reparación, siendo escasos los lugares de depósitos para las extracciones de las limpias.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Se definió, entre varias alternativas posibles, la mejor ubicación para las obras, que quedó fuertemente condicionada por el uso hidroeléctrico, considerando especialmente la altura de caída, la cercanía a la subestación Catemu y la devolución de las aguas generadas al cauce natural . Todas las alternativas analizadas son muy parecidas en términos ambientales. En una escala de 1 (baja sensibilidad ambiental) a 3 (alta sensibilidad ambiental), todas clasificaron en el rango de 1,86 a 1,98.

- La mejor alternativa es la que ubica el fin de la obra de unificación y la generación a la salida del túnel 2. Esta obra se sitúa a 100 m de la línea de transmisión (que debe reforzarse) y a 1 km de la subestación Catemu, devuelve las aguas al estero Catemu y tiene una altura neta de generación de unos 66 m.

- Uno de los temas más complejos del estudio, fue resolver acerca de los derechos de agua de los canales de la Segunda Sección, ya que no se encuentran perfeccionados y regularizados. La mayoría no cuenta con una equivalencia en agua de sus acciones. Los canales Arriba de Catemu y Abajo de Catemu sí cuentan con una dotación de caudal. La solución adoptada para resolver este problema fue reconocer, en aquellos casos en que no hay una equivalencia, un caudal equivalente a la capacidad máxima de cada canal, de acuerdo con estudio realizado por la Dirección General de Aguas.

- Los regantes de los canales Abajo de Catemu y Pepino decidieron no trasladar la captación de la totalidad de sus derechos hacia la obra de captación unificada, sino que mantener una parte en la actual captación, de modo de poder captar aguas provenientes de vertientes cercanas ubicadas aguas abajo de la obra unificada. El canal Abajo de Catemu quedaría con 5 m^3/s por la obra unificada y 1 m^3/s por la captación actual, en tanto que el canal Pepino quedaría con 1 m^3/s por la obra unificada y 2 m^3/s por la captación actual. De este modo, el canal unificado fue diseñado finalmente para un caudal de 13 m^3/s, aproximadamente.

- Con respecto a los derechos de agua, los regantes de los canales Arriba de Catemu y Abajo de Catemu deben perfeccionar y regularizar sus acciones efectuando las siguientes acciones:

  - Actualizar el Rol de Regantes de la Junta de Vigilancia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Inscribir individualmente las acciones
- Darles el carácter de uso consuntivo, permanente y continuo

Por su parte, los regantes del Canal Pepino deben asignar equivalencia de su acción en términos de volumen de agua por unidad de tiempo.

- El proyecto concebido consta de las siguientes obras:

  - Obra de captación en el río Aconcagua, ubicada donde actualmente capta sus aguas el canal Arriba de Catemu. La obra dispone de una manga de aducción, un desripiador y compuertas de descarga, compuertas de admisión y aforador, y un vertedero de seguridad.

  - Aumento de la capacidad y revestimientos del canal Arriba de Catemu.

  - Abovedamientos en el canal Abajo de Catemu.

  - Descargas de aguas lluvia

  - Entregas a riego a los canales de abajo mediante tuberías.

  - Cruces de caminos.

  - Obra de entrega del canal Matriz a los canales Abajo de Catemu y Pepino en el Km 5,6.

  - Ampliación y mejoramiento de conducción de los túneles 1 y 2.

  - Refuerzos del canal Arriba de Catemu en sectores con problemas de estabilidad (abovedamientos).

  Además, para los efectos de generación hidroeléctrica, se contempló las siguientes obras:

  - Canal de aducción y desarenador.

  - Cámara de carga y vertedero lateral.

  - Chutes rechazo de carga y de disipación.

  - Tubería a presión.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Casa de máquinas y fundación equipos.
- Estanque de estabilización y foso disipador.
- Equipos electromecánicos y de bombeo.
- Línea eléctrica y patio de transformación.
- Canal de restitución.

- Entre los costos de las obras, se ha considerado los siguientes:
  - Obras civiles, excepto la obra de unificación: $ 14.340 millones
  - Obra de Unificación y Central Hidroeléctrica: $ 8.319 millones
  - Expropiaciones: $ 248 millones
  - Ambientales: $ 699 millones

  Además, están los costos de asistencia técnica, puesta en riego y habilitación de suelos, que son variables a través de los años, con un máximo de $203 millones y un mínimo de $86 millones.

- Entre los beneficios, se consideraron los siguientes:
  - Beneficios agrícolas, variables con un máximo de 2.795 millones al año.
  - Disminución de costos de operación y mantenimiento: estimada en $50 millones.
  - Generación Hidroeléctrica, variable año a año, con un máximo del orden de $2.700 millones al año.
  - Daño evitado por inundaciones y derrumbes, calculado en $169 millones al año.
  - Incremento en el valor de la tierra, variable con un valor de estabilización de $450 millones al año.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingeniería.cl

- Disponibilidad de nuevos recursos, calculado en $ 7.846 millones al año.

- Se efectuó la evaluación económica, tanto a precios de mercado como a precios sociales, para los 5 escenarios siguientes:

  - **Riego**: Consiste en considerar el costo total del proyecto, pero solamente los beneficios en riego.

  - **Riego y Energía:** Consiste en considerar los costos y beneficios totales del proyecto, para ambos usos.

  - **Sólo Riego:** Consiste en considerar los costos de las obras según las demandas de riego y los beneficios del riego solamente.

  - **Sólo Hidroelectricidad:** Consiste en considerar los costos totales de las obras y los beneficios solamente de la generación hidroeléctrica.

  - **Riego (con Red Secundaria) y Energía:** Consiste en considerar los costos y beneficios totales del proyecto, para ambos usos. Además se considera que la red secundaria está en óptimas condiciones, lo que implica aumentar la superficie regada en 654,4 ha.

- La evaluación se efectuó por los 3 métodos siguientes:

  - **Presupuesto**: método tradicional que compara beneficios y costos durante un período de 30 años.

  - **Valor Incremental de la Tierra**: Método que compara el valor de la tierra según el uso del suelo en las situaciones con y sin proyecto.

  - **Transacciones de Agua**: Método basado en el valor de los derechos de las aguas utilizadas en la situación con proyecto menos el valor en la situación sin proyecto.

- Con tasas de descuento privadas del 15% y sociales del 6%, los resultados indicaron que ninguno de los escenarios es rentable a precios privados, salvo por el método de las transacciones en aquellos escenarios que consideran generación hidroeléctrica.

- A precios sociales, todos los escenarios son rentables por el método del presupuesto. Por el método del Valor Incremental de la Tierra, solo es rentable el escenario de riego más energía, es decir, el proyecto objeto de presente estudio. Finalmente, por el método de las transacciones, siguen

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

siendo rentables solamente los escenarios que consideran generación de energía.

- Al tomar en consideración el método del presupuesto y los Escenarios 2 y 5, los resultados son los siguientes:

Precios Privados	VAN=-$10.299 millones Tir = 10,4% n/k = 0,69	VAN=-$2.533 millones Tir = 14,1% n/k = 0,92
Precios Sociales	VAN=-$18.513 millones Tir = 12,4% n/k = 1,87	VAN=-$39.274 millones Tir = 15,6% n/k = 2,50

- Se destaca que el proyecto objeto del presente estudio es viable en términos económicos principalmente por la incorporación del uso hidroeléctrico. Al considerar el mejoramiento de la red secundaria, que es equivalente a incorporar 654,4 ha, se obtienen indicadores sustancialmente mayores.

13.2. RECOMENDACIONES

De los resultados anteriores se puede concluir que, aunque a precios sociales el proyecto de riego es rentable, el riego es más conveniente bajo el marco de un nuevo concepto de proyecto, que involucre el mejoramiento de la totalidad de los canales primarios y secundarios. Esta aseveración se sustenta en que el beneficio poco significativo en el ámbito del riego, caracterizado por un aumento marginal de la seguridad de riego en la misma superficie actual, se debe a que el proyecto solo concibe el mejoramiento y ampliación de la capacidad del primer tramo del sistema de canales, dejando el resto de la red en la misma condición actual, con una capacidad muy limitada para conducir nuevos recursos.

Lo anterior sugiere que en una etapa de factibilidad se hace necesario determinar en detalle las características de la red secundaria, su capacidad, su estado de conservación, y el costo de un proyecto de mejoramiento. Así se puede analizar, además del aumento de la seguridad de riego, una posible expansión de la zona de riego actual hacia terrenos ubicados en laderas, con la consecuente incorporación de especies frutales de alta rentabilidad. De esta forma se maximiza el proyecto individual de la componente riego (escenario 3).

No obstante, el mayor cambio radica en la concepción del proyecto, ya que con estas nuevas condiciones resultaría más pertinente evaluar los efectos del proyecto completo, un canal de 13 m^3/s, en el riego (escenario 1), definiendo las inversiones y beneficios de la generación hidroeléctrica (escenario 4) como un complemento al riego, en el marco de un proyecto multipropósito (escenario 2).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

ANEXOS

ANEXO 3-1

ENSAYOS DE LABORATORIO CALICATAS

CALICATAS EXISTENTES

INGENIERIA EN GEOTECNIA Y FUNDACIONES

GEOFUN Ltda.

Mubonte, Astorga, Arrau Ltda.

María Luisa Santander 0231, Providencia - FONO/FAX 3414800 - SANTIAGO

ENSAYE DE PERMEABILIDAD IN SITU

El ensaye de permeabilidad in situ consiste en realizar una excavación rectangular en el fondo del pozo de aproximadamente 20 a 30 cm de lado y de 10 a 20 cm de altura. A continuación se llena la excavación completamente con agua y se mide el tiempo que se demora en descender el nivel de agua una cierta cantidad de centímetros no superior a la mitad de la altura de la excavación.

La permeabilidad del suelo ensayado se determina según la relación:

$$k = \frac{d\ \Delta h}{32\ h_m\ \Delta t}$$

donde:

k	=	permeabilidad en cm/s.
Δh	=	descenso del nivel de agua, en cm.
h_m	=	altura media de agua en la excavación durante el ensaye, en cm.
Δt	=	tiempo transcurrido, en segundos.
d	=	diámetro medio de la excavación, en cm, según:

$$d = \sqrt{\frac{4\ L\ B}{\pi}}$$

donde:

L	=	largo de la excavación, en cm.
B	=	ancho de la excavación, en cm.
π	=	número pi (3.14159.....)

La expresión para determinar la permeabilidad fue desarrollada para una excavación en forma de cilindro. En el terreno resulta más preciso hacer una excavación rectangular de lado L y ancho B, por lo que se recurre a un cálculo intermedio para determinar el diámetro medio de la excavación.

Referencia : "Directives pour la mise en soumisson, l'exécution et l'interprétation de sondages de reconnaissance et d'essain "in situ" dans les terrains meubles et les roches", Sociedad Suiza de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones.

INGENIERIA EN GEOTECNIA Y FUNDACIONES

GEOFUN LTDA.

Musante, Astorga, Arrau Ltda.

María Luisa Santander 0231, Providencia - FONO/FAX 3414002 - SANTIAGO

MEDICION DE PERMEABILIDAD IN SITU

OBRA	: MEJORAMIENTO CANAL CATEMU
POZO	: 1
MUESTRA	: 1
ESTRATO	: 4
COTA DE ENSAYE (m)	: 2.00
DIMENSIONES (cm)	: LARGO 18 cm ANCHO 16 cm ALTO 7 cm
TIEMPO DE ESCURRIMIENTO	: 31 min. 51 seg. en 3.5 cm

$$k = \frac{d\ \Delta h}{32\ h_m\ \Delta t}$$

$$d = \sqrt{\frac{4\ L\ B}{\pi}}$$

PERMEABILIDAD : 2.1×10^{-4} cm/s

INGENIERIA EN GEOTECNIA Y FUNDACIONES

GEOFUN LTDA.

Mucarte, Astorga, Arrau Ltda.

María Luisa Santander 0231, Providencia - FONO/FAX 3414000 - SANTIAGO

MEDICION DE PERMEABILIDAD IN SITU

OBRA	: MEJORAMIENTO CANAL CATEMU
POZO	: 3
MUESTRA	: 3
ESTRATO	: 3
COTA DE ENSAYE (m)	: 2.00
DIMENSIONES (cm)	: LARGO 30 cm ANCHO 30 cm ALTO 18 cm
TIEMPO DE ESCURRIMIENTO	: 70 min. en 6.3 cm

$$k = \frac{d\ \Delta h}{32\ h_m\ \Delta t}$$

$$d = \sqrt{\frac{4\ L\ B}{\pi}}$$

PERMEABILIDAD : 1.1×10^{-4} cm/s

INGENIERIA EN GEOTECNIA Y FUNDACIONES
Musante, Astorga, Arrau Ltda.
María Luisa Santander 0231, Providencia - FONO/FAX 3414000 - SANTIAGO

GEOFUN MA

MEDICION DE PERMEABILIDAD IN SITU

OBRA	: MEJORAMIENTO CANAL CATEMU
POZO	: 7
MUESTRA	: 6
ESTRATO	: 2
COTA DE ENSAYE (m)	: 2.20
DIMENSIONES (cm)	: LARGO 21.5 cm ANCHO 20 cm ALTO 10 cm
TIEMPO DE ESCURRIMIENTO	: 60 min. 37 seg. en 1.5 cm

$$k = \frac{d\ \Delta h}{32\ h_m\ \Delta t}$$

$$d = \sqrt{\frac{4\ L\ B}{\pi}}$$

PERMEABILIDAD : 3.3×10^{-5} cm/s

H.75

INGENIERIA EN GEOTECNIA Y FUNDACIONES

GEOFUN

Moscoso, Astorga, Arau Ltda.

Maria Luisa Santander 0231, Providencia · FONO/FAX 3414608 · SANTIAGO

MEDICION DE PERMEABILIDAD IN SITU

OBRA	: MEJORAMIENTO CANAL CATEMU
POZO	: 9
MUESTRA	: 0
ESTRATO	: 4
COTA DE ENSAYE (m)	: 2.30
DIMENSIONES (cm)	: LARGO 20 cm ANCHO 18 cm ALTO 12 cm
TIEMPO DE ESCURRIMIENTO	: 10 min. 12 seg. en 6.0 cm

$$k = \frac{d\,\Delta h}{32\,h_m\,\Delta t}$$

$$d = \sqrt{\frac{4\,L\,B}{\pi}}$$

PERMEABILIDAD : 7.4×10^{-4} cm/s

CERTIFICADO DE ENSAYE Nº 35.240

Informa resultados de ensayes de clasificación y compresión no confinada, efectuados sobre muestras de suelo, enviadas por el interesado, procedentes de Obra: Canal Catemu.

Los ensayes fueron solicitados a Tecnolab, por GEOFUN LTDA., María Luisa Santander # 0231, Providencia.

Los resultados obtenidos se presentan en tablas anexas.

SANTIAGO, Octubre 11 de 1995.

TECNOLAB LTDA.

H.78

TECNOLAB

35240-1

LABORATORIOS TECNICOS

ENSAYOS DE LABORATORIO

Canal Catemu.

A.— IDENTIFICACION

Pozo N°.	1	2	3	4	5	7	9
Muestra N°.	1	2	3	4	5	6	8
Horizonte N.°	4	3	3	2	1	2	4
Profundidad (m)	1.90	1.50	2.00	1.30	0.50	2.20	2.10

B.— GRANULOMETRIA (% en peso que pasa)

ABERTURA EN PULG. O N°. ASTM	ABERTURA EN (mm)							
Criba 3"	76.2							
2½"	63.5				100	100		
2"	50.8				87	89		100
1½"	38.1				68	79		98
1"	25.4				43	67		96
3/4"	19.1				35	63	100	95
3/8"	9.52	100		100	29	60	99	93
MALLA N.° 4	4.76	99	100	99	26	58	-	92
10	2.00	98	99	98	23	53	98	84
20	0.84							
40	0.42	87	79	83	16	42	90	46
60	0.25							
200	0.074	66	39	57	10	33	84	20
Bolones sobre 3"	(%)							

C.— CONSTANTES FISICAS E HIDRICAS

Peso Específico Sobre 4							
" " " Bajo 4	2.64	2.62	2.63	2.64	2.66	2.58	2.60
Dens. Aparento (t/m³)							
Límite Líquido	30	28	25	23	32	27	16
Límite Plástico	17	26	18	19	19	20	15
Indice de Plasticidad	13	2	7	4	13	7	1

D.— CLASIFICACION AASHTO

Símbolo del Grupo USCS	CL	SM(ML)	CL-ML	GP-GC	SC(CL)	CL-ML	SM

E.— DATOS DE TERRENO

Dens. Nat. Hum. (t/m³)							
Dens. Nat. Seca (t/m³)							
Humedad Natural (%)	11.8	5.8	13.3	4.2	6.1	21.0	5.0
Grado de Saturación (%)							
Razón de Vacios							

F.— DENSIDAD RELATIVA

Densidad Mínima (t/m³)							
Densidad Máxima (t/m³)						1.79	
Densidad Relativa (%)							

TECNOLAB

35240-2

LABORATORIOS TECNICOS

ENSAYOS DE LABORATORIO

Canal Catemu.

A.— IDENTIFICACION

Pozo N°.	8	10					
Muestra N°.	7	9					
Horizonte N.°	2	2					
Profundidad (m)	2.30	1.70					

B.— GRANULOMETRIA (% en peso que pasa)

ABERTURA EN PULG. O N°. ASTM	ABERTURA EN (mm)							
Criba 3"	76.2							
2½"	63.5							
2"	50.8							
1½"	38.1		100					
1"	25.4		99					
3/4"	19.1		97					
3/8"	9.52	100	94					
MALLA N.° 4	4.76	99	91					
10	2.00	80	85					
20	0.84							
40	0.42	17	65					
60	0.25							
200	0.074	3	51					
Bolones sobre 3"	(%)							

C.— CONSTANTES FISICAS E HIDRICAS

Peso Especifico Sobre 4							
" " Bajo 4	2.67	2.72					
Dens. Aparente (t/m³)							
Limite Liquido	28	21					
Limite Plástico	-	20					
Indice de Plasticidad	0	1					

D.— CLASIFICACION AASHTO

Simbolo del Grupo USCS	SW	ML					

E.— DATOS DE TERRENO

Dens. Nat. Hum. (t/m³)							
Dens. Nat. Seca (t/m³)							
Humedad Natural (%)	2.1	3.7					
Grado de Saturación (%)							
Razón de Vacios							

I.— DENSIDAD RELATIVA

Densidad Mínima (t/m³)							
Densidad Máxima (t/m³)					1L.80		
Densidad Relativa (%)							

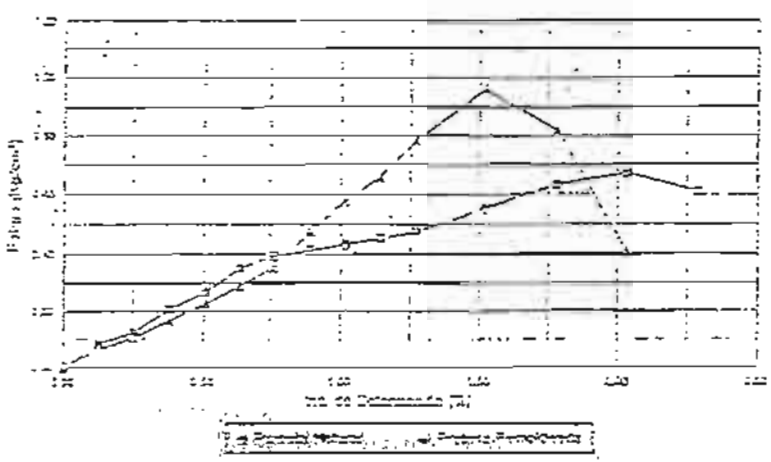
ENSAYE DE COMPRESION NO CONFINADA

C.E.	:	35.240
OBRA	:	Mejoramiento Canal Catemu Alto
POZO	:	2
MUESTR	:	2
HORIZON	:	3
COTAS	:	1.50 m

Indice de Deformación (%)	0.15	0.23	0.38	0.51	0.64	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.52	1.78	2.03	2.29		
Presión Natural	0.08	0.12	0.21	0.27	0.35	0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.55	0.60	0.67	0.61		
Presión Remoldeada																
	0.06	0.10	0.17	0.23	0.29	0.35	0.47	0.54	0.64	0.75	0.84	0.92	0.94	0.91		

	Probeta	
	Natural	Remold.
qu(max) [kg/cm²]	0.67	0.55
Dens Nat Hum [kg/dm3]	1.79	1.79
Dens Nat Seca [kg/dm3]	1.68	1.69
humedad natural (%)	6.5	5.7
Grado de Saturación (%)	30.5	27.3
Razon de Vacios	0.56	0.55

GRAFICO COMPRESION NO CONFINADA.



ENSAYE DE COMPRESION NO CONFINADA

ENSAYE DE COMPRESION NO CONFINADA

C.E.	:	25.240
OBRA	:	Mejoramiento Canal Catemu Alto
POZO	:	8
MUESTR	:	7
HORIZON	:	2
COTAS	:	2.30 m.

Indice de Deformación [1/1]	0.13	0.25	0.38	0.51	0.64	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.52	1.78	2.03	2.29	2.54	3.05
Presión Vertical	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09
Fuerza [kg/cm²]																
Presión Remoldeada																

	Proceso	
	Natural	Remold.
qu(max) [kg/cm²]	0.10	
Dens Nat Hum [kg/dm3]	1.25	
Dens Nat Seca [kg/dm3]	1.61	
humedad natural [%]	2.1	
Grado de Saturación [%]	11.8	
Razón de Vacios	0.47	

Nota: No fué posible formar Probeta Remoldeada

GRAFICO COMPRESION NO CONFINADA.

DETERMINACION COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD
METODO DE CARGA VARIABLE

CERTIFICADO DE ENSAYE N° 35.240

OBRA : Mejoramiento Canal Catemu.

I.– Datos de las muestras

Pozo		1	3	7	9
Muestra		1	3	6	8
Cota	[m]	1.90	2.00	2.20	2.10
Densidad Húmeda	[kg/dm3]	1.37	1.35	1.40	1.57
Humedad	[%]	10.7	10.4	16.2	8.2
Densidad Seca	[kg/dm3]	1.24	1.22	1.27	1.45

II.– Datos del Ensaye

Diámetro de la Probeta	[cm]	10.020	10.080	10.050	10.080
Area de la Probeta	[cm²]	78.854	79.801	79.327	79.801
Longitud de la Probeta	[cm]	11.000	11.020	11.020	11.020
Area Tubería	[cm²]	0.196	0.196	0.196	0.196
Tiempo de Escurrimiento	[min]	5.0	5.0	10.0	1.0
Carga Inicial	[cm]	100.0	100.0	100.0	100.0
Carga Final	[cm]	27.0	34.0	16.2	6.7

III.– Coeficientes de Permeabilidad

Coeficiente K	[cm/seg]	1.190E-04	9.733E-05	8.260E-05	1.219E-03

H.83

CERTIFICADO DE ENSAYE N° 35.210

Obra : Mejoramiento Canales Calemu.
Muestra : P-10, M-9, 1.70 m.

ENSAYO TRIAXIAL

Tipo de ensayo:	CIU	Sigma 3	0.50 [Kg/cm²]
Densidad Húmeda :	1.72 [gr/cm3]	Humedad	3.9 [%]
Densidad Seca :	1.66		

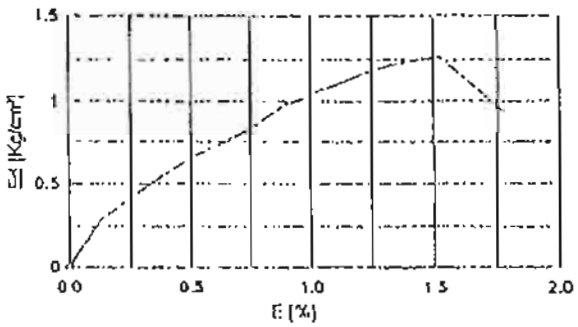
E (%)	DU [Kg/cm²]	Ed [Kg/cm²]	σ [Kg/cm²]	τ [Kg/cm²]
0.127	0.02	0.20	0.63	0.15
0.254	0.05	0.42	0.68	0.21
0.381	0.08	0.65	0.70	0.28
0.508	0.10	0.66	0.73	0.33
0.635	0.12	0.74	0.75	0.37
0.762	0.13	0.84	0.79	0.42
0.888	0.14	0.97	0.85	0.49
1.016	0.15	1.06	0.88	0.53
1.143	0.16	1.12	0.90	0.56
1.270	0.17	1.20	0.93	0.60
1.524	0.18	1.27	0.96	0.64
1.778	0.19	0.93	0.78	0.47

Probeta: Remoldeada Diámetro y altura [cm]: 5.00 x 10.00
Contra Presión [k/cm²]: 2.50 Presión Cámara [k/cm²]: 3.00

LABORATORIOS TECNOLAB S.A. H.84

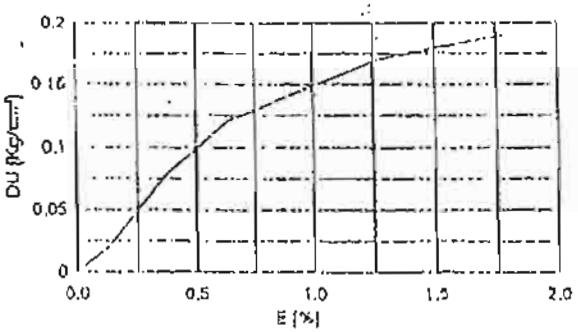
ENSAYO TRIAXIAL Ed v/s E

Mejoramiento Canales Catemu. P-10, M-9,.Sigma3=0.5 [kg/cm²]



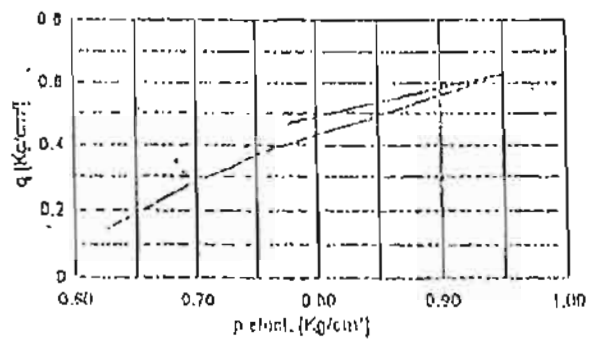
ENSAYO TRIAXIAL DU v/s E

Mejoramiento Canales Catemu. P-10, M-9,.Sigma3=0.5 [kg/cm²]



ENSAYO TRIAXIAL q v/s p efec.

Mejoramiento Canales Catemu. P-10, M-9,.Sigma3=0.5 [kg/cm²]



CERTIFICADO DE ENSAYE N°. 35.240

Obra : Mejoramiento Canales Catemu.
Muestra : P-10, M-9, 1.70 m.

ENSAYO TRIAXIAL

Tipo de ensayo: CIU Sigma 3 : 1,00 [Kg/cm²]

Densidad Húmeda : 1.72 (gr/cm3) Humedad : 4.2 (%)
Densidad Seca : 1.65

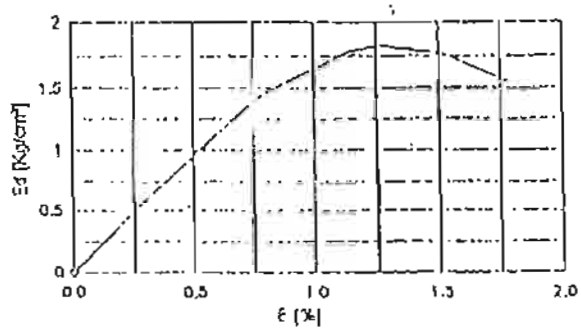
E [%]	DU [Kg/cm²]	Ed [Kg/cm²]	p [Kg/cm²]	q [Kg/cm²]
0.127	0.08	0.25	1.05	0.13
0.254	0.14	0.51	1.12	0.20
0.381	0.18	0.74	1.19	0.37
0.508	0.20	0.87	1.29	0.49
0.635	0.22	1.19	1.38	0.60
0.762	0.23	1.42	1.48	0.71
0.889	0.26	1.55	1.52	0.78
1.016	0.32	1.66	1.51	0.83
1.143	0.38	1.78	1.51	0.89
1.270	0.39	1.83	1.53	0.92
1.524	0.39	1.76	1.49	0.88
1.778	0.36	1.55	1.42	0.78

Probeta: Remoldeada Diámetro y altura [cm]: 5.00 x 10.00
Contra Presión [k/cm²]: 2.50 Presión Cámara [k/cm²]: 3.50

H.86

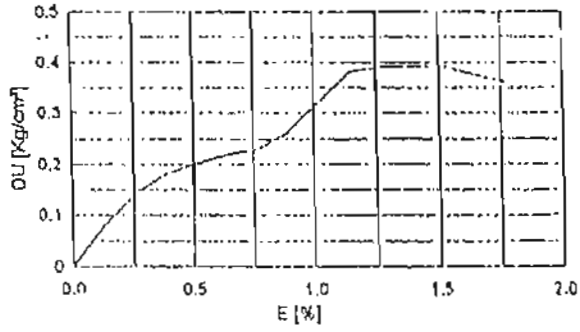
ENSAYO TRIAXIAL Ed v/s E

Mejoramiento Canales Catemu. P-10, M-9,.Sigma3=1.0 [kg/cm²]



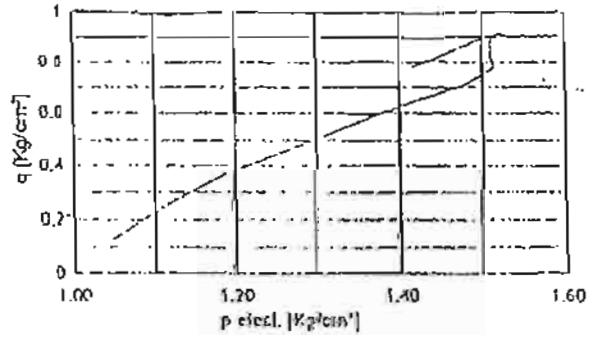
ENSAYO TRIAXIAL DU v/s E

Mejoramiento Canales Catemu. P-10, M-9,.Sigma3=1.0 [kg/cm²]



ENSAYO TRIAXIAL q v/s p efec.

Mejoramiento Canales Catemu. P-10, M-9,.Sigma3=1.0 [kg/cm²]



CERTIFICADO DE ENSAYE N°. 38.240

Obra : Mejoramiento Canales Calcmu.
Muestra : P-10, M-9, 1.70 m.

ENSAYO TRIAXIAL

Tipo de ensayo: CIU Sigma 3 : 2.00 [Kg cm²]

Densidad Húmeda : 1.71 [gr/cm3] Humedad : 3.7 [%]
Densidad Seca : 1.65

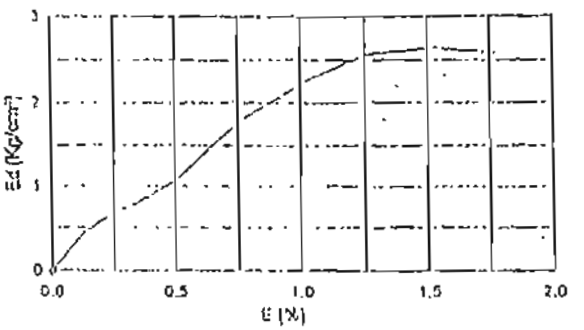
E [%]	DU [Kg/cm²]	Ed [Kg/cm²]	p [Kg/cm²]	q [Kg/cm²]
0.127	0.06	0.44	2.16	0.22
0.254	0.15	0.68	2.19	0.34
0.381	0.22	0.86	2.21	0.43
0.508	0.31	1.09	2.24	0.55
0.635	0.46	1.46	2.27	0.73
0.762	0.59	1.79	2.31	0.90
0.889	0.68	2.01	2.33	1.01
1.016	0.77	2.25	2.36	1.13
1.143	0.83	2.41	2.38	1.21
1.270	0.88	2.57	2.40	1.29
1.524	0.91	2.64	2.41	1.32
1.778	0.93	2.59	2.37	1.30

Probeta: Remoldeada Diámetro y altura [cm]: 5.00 x 10.00
Contra Presión [k/cm²]: 2.00 Presión Cámara [k/cm²]: 4.00

LABORATORIOS TECNICOS H.88 TECNOLAB

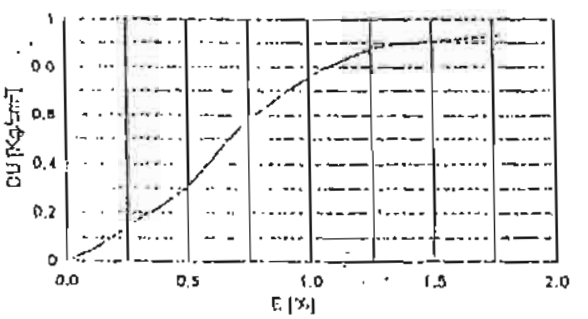
ENSAYO TRIAXIAL Ed v/s E

Mejoramiento Canales Calemu. P-10, M-9, Sigma3=2.0 [kg/cm²]



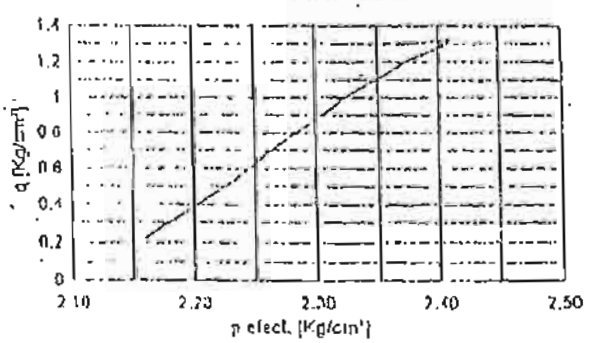
ENSAYO TRIAXIAL DU v/s E

Mejoramiento Canales Calemu. P-10, M-9, Sigma3=2.0 [kg/cm²]



ENSAYO TRIAXIAL q v/s p efec.

Mejoramiento Canales Calemu. P-10, M-9, Sigma3=2.0 [kg/cm²]



TECNOLAB

35474-1

LABORATORIOS TECNICO

ENSAYOS DE LABORATORIO

Canal Catemu
Alto Rivera Norte,
Río Aconcagua.

A.— IDENTIFICACION

Pozo N°.	Integral
Muestra N°.	
Horizonte N.°	
Profundidad (m)	

B.— GRANULOMETRIA (% en peso que pasa)

ABERTURA EN PULG. O N°. ASTM	ABERTURA EN [mm]	
Criba 5"		94
4"		87
3"		68
2 1/2"		61
2"		55
1 1/2"		48
1"		38
3/4"		32
3/8"		22
Malla N° 4		17
10		15
40		9
200		3
Bolones sobre 3"	(%)	

C.— CONSTANTES FISICAS E HIDRICAS

Peso Específico Sobre 4	
" " Bajo 4	2.72
Dens. Aparente (t/m³)	
Límite Líquido	20
Límite Plástico	–
Indice de Plasticidad	0

D.— CLASIFICACION AASHTO

Símbolo del Grupo USCS	GP

E.— DATOS DE TERRENO

Dens. Nat. Hum. (t/m³)	
Dens. Nat. Seca (t/m³)	
Humedad Natural (%)	1.0
Grado de Saturación (%)	
Razón de Vacios	

F.— DENSIDAD RELATIVA

Densidad Mínima (t/m³)	
Densidad Máxima (t/m³)	
Densidad Relativa (%)	

H.108

CERTIFICADO DE ENSAYE N° 37.686

Informa resultados de clasificación, peso unitario, densidad relativa, proctor, compresión no confinada, consolidación y triaxiales, efectuados sobre muestras de suelos, procedentes de Obra Mejoramiento Canales Catemu.

Los ensayes fueron solicitados a TECNOLAB LTDA., por la Empresa GEOCAV LTDA. Providencia 175, oficina 42, Santiago.

Los resultados obtenidos se presentan en tablas anexas.

(*) Nota: Algunos ensayes de peso unitario y compresión no confinada, no se realizaron por no presentar la muestra las características apropiadas para dicho ensaye.

TECNOLAB LTDA.

SANTIAGO, Septiembre 13 de 1995.

ENSAYES DE LABORATORIO

C. E. 37.686-1

Mejoramiento Canales Catemu.
sector puente.

A.- IDENTIFICACION

Pozo N°	1	2	3	4	5	6	7
Kilómetro	0545	1290	3153	3673	7257	8050	13300
Zona	canal	canal	canal	canal	Reinoso	-	Salesiano
Profundidad [m]	2.20	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00
	2.50	2.20	2.20	2.20	1.50	2.20	2.20

B.- GRANULOMETRIA (% en peso que pasa)

Abertura en Pulg.	Abertura							
o n° ASTM	en [mm]							
Criba 3"	76.2	100				100	100		100
2 1/2	63.5	98				92	96		93
2	50.8	93				81	90		86
1 1/2	38.1	80				78	84		82
1	25.4	65				67	70		77
3/4	19.1	56				64	62		73
3/8	9.52	41		100	100	54	46	100	59
Malla N° 4	4.76	31		99	99	46	31	99	49
10	2.00	25		94	93	37	24	97	41
20	0.84								
40	0.42	8		77	60	16	15	80	31
60	0.25								
200	0.074	1		59	30	6	7	75	24
Bolones sobre 3"	[%]					10			

C.- CONSTANTES FÍSICAS E HIDRICAS

Peso Especifico Sobre Malla 4								
Peso Especifico Bajo Malla 4	2.72		2.72	2.70	2.72	2.71	2.67	2.75
Dens. Aparente [t/m3]								
Limite Liquido	19		21	20	15	20	23	21
Limite Plástico	-		-	14	14	17	17	15
Indice de Plasticidad	0		0	6	1	3	6	6

D.- CLASIFICACIÓN

Simbolo del Grupo AASHTO							
Simbolo del Grupo USCS	GW	ML	SM-SC	GP-GM	GP-GM	CL-ML	GM-GC

E.- DATOS DE TERRENO

Dens. Nat. Hum. [t/m3]		1.92					
Dens. Nat. Seca [t/m3]		1.43					
Humedad Natural [%]	2.5	34.6	13	2.7	4.1	19.3	8.5
Grado de Saturación [%]							
Razón de Vacios							

F.- DENSIDAD RELATIVA

Densidad Mínima [t/m3]	1.92			1.90	1.85		1.85
Densidad Máxima [t/m3]	2.38			2.38	2.31		2.29
Densidad Relativa [t/m3]							

sqs

ENSAYES DE LABORATORIO

C. E. 37.826-3

Mejoramiento Canales Catemu, Descargas.

A.- IDENTIFICACION

Pozo N°	1	2	1	1-A	1-B	1-C
Kilómetro	1282	5676	1512	1S20	1920	1920
Descarga	Marganta	s/nombre	Pimiento	C.bajo	C.bajo	C.bajo
Profundidad [m]	2.00	salida	2.00	2.00	2.00	2.00
	2.20	túnel	2.20	2.20	2.20	2.20

B.- GRANULOMETRIA (% en peso que pasa)

Abertura en Pulg	Abertura						
o n° ASTM	en [mm]						
Criba 3"	76.2					100	
2 1/2	63.5		100			99	
2	50.8		97			96	
1 1/2	38.1		93			92	
1	25.4		91			91	
3/4	19.1		89			90	100
3/8	9.52	100	85	100	100		75
Malla N° 4	4.76	94	84	97	99	89	74
10	2.00	85	83	89	30	71	62
20	0.84						
40	0.42	72	80	73	20	26	11
60	0.25						
200	0.074	61	71	60	7	6	3
Bolones sobre 3"	[%]						

C.- CONSTANTES FÍSICAS E HIDRICAS

Peso Específico Sobre Malla 4						
Peso Específico Bajo Malla 4	2.75	2.67	2.76	2.67	2.63	2.68
Dens. Aparente [t/m3]						
Límite Líquido	25	32	24	23	23	19
Límite Plástico	-	15	19	-	-	-
Índice de Plasticidad	0	17	5	0	0	0

D.- CLASIFICACIÓN

Símbolo del Grupo AASHTO						
Símbolo del Grupo USCS	ML	CL	CL-ML	SP-SM	SW-SM	SP

E.- DATOS DE TERRENO

Dens. Nat. Hum. [t/m3]			1.75	1.78	1.80	1.77
Dens. Nat. Seca [t/m3]			1.68	1.71	1.73	1.67
Humedad Natural [%]	14.2	12.6	4.3	3.5	4.2	6.0
Grado de Saturación [%]						
Razón de Vacíos						

F.- DENSIDAD RELATIVA (C Nota)

Densidad Mínima [t/m3]				1.49	1.44	1.45
Densidad Máxima [t/m3]				1.83	1.80	1.85
Densidad Relativa [t/m3]				69	84	61

sqs

ENSAYES DE LABORATORIO

C. E. 37.686-4

Mejoramiento Canales Catemu.
Bocatoma y desagüe.

A.- IDENTIFICACION

Pozo N°	1	2	1				
Kilómetro	s/n	s/n	s/n				
Bocatoma y desagüe	C. Alto	C. Alto	Sta.Isabel				
Profundidad (m)	3.00	2.00	4.00				
	3.20	2.20	4.20				

B.- GRANULOMETRIA (% en peso que pasa)

Abertura en Pulg	Abertura							
o n° ASTM	en (mm)							
Criba 3"	76.2							
2 1/2	63.5							
2	50.8							
1 1/2	38.1		100					
1	25.4		99					
3/4	19.1	100	98	100				
3/8	9.52	99		99				
Malla N° 4	4.76	98	97	96				
10	2.00	75	69	85				
20	0.84							
40	0.42	27	23	37				
60	0.25							
200	0.074	6	5	9				
Bolones sobre 3"	(%)							

C.- CONSTANTES FÍSICAS E HIDRICAS

Peso Específico Sobre Malla 4							
Peso Específico Bajo Malla 4	2.75	2.75	2.75				
Dens. Aparente (t/m3)							
Límite Líquido	24	24	22				
Límite Plástico	-	19	-				
Índice de Plasticidad	0	5	0				

D.- CLASIFICACIÓN

Símbolo del Grupo AASHTO							
Símbolo del Grupo USCS	SW-SM	SW	SW-SM				

E.- DATOS DE TERRENO (SM-SC)

Dens. Nat. Hum. (t/m3)							
Dens. Nat. Seca (t/m3)							
Humedad Natural (%)	4.4	5.1	4.0				
Grado de Saturación (%)							
Razón de Vacíos							

F.- DENSIDAD RELATIVA (* Nota) C Nota) (* Nota)

Densidad Mínima (t/m3)	1.45	1.42	1.44				
Densidad Máxima (t/m3)	1.81	1.78	1.8				
Densidad Relativa (t/m3)							

sqs

ENSAYES DE LABORATORIO

C. E. 37.686-5

Mejoramiento Canales Catemu,
Reemplazo compuerta Reinoso.

A.- IDENTIFICACION

Pozo N°	1	2	3				
Kilómetro	8.99	8.99	8.99				
Descarga a	río	río	río				
Profundidad [m]	2.00	2.20	2.00				
	2.20	2.50	2.20				

B.- GRANULOMETRIA (% en peso que pasa)

Abertura en Pulg	Abertura							
o n° ASTM	en [mm]							
Criba 3"	76.2							
2 1/2	63.5			100				
2	50.8			95				
1 1/2	38.1	100		86				
1	25.4	94		72				
3/4	19.1	90		65				
3/8	9.52	73	100	53				
Malla N° 4	4.76	64	99	43				
10	ZOO	54	98	32				
20	0.84							
40	0.42	34	96	12				
60	0.25							
200	0.074	18	87	1				
Bolones sobre 3"	[%]							

C.- CONSTANTES FÍSICAS E HIDRICAS

Peso Especifica Sobre Malla 4							
Peso Especifico Bajo Malla 4	2.76	2.74	2.75				
Dens. Acarente [t/m3]							
Limite Líquido	18	44	20				
Limite Plástico	-	31	-				
Indice de Plasticidad	0	13	0				

D.- CLASIFICACIÓN

Simbolo del Grupo AASHTO							
Simbolo del Grupo USCS	SM	ML	GP				

E.- DATOS DE TERRENO

Dens. Nat. Hum. [t/m3]							
Dens. Nat. Seca [t/m3]							
Humedad Natural [%]	10.8	24.9	2.9				
Grado de Saturación [%]							
Razón de Vacios							

F.- DENSIDAD RELATIVA

Densidad Mínima [t/m3]	1.43		1.93				
Densidad Máxima [t/m3]	1.86		2.31				
Densidad Relativa [t/m3]							

sqs

ENSAYES DE LABORATORIO

C. E. 37.685-5

Mejoramiento Canales Catemu,
Zana cubeta.

A.- IDENTIFICACION

Pozo N°	1	1	1				
Kilómetro	5450	12400	18726				
Sector	Puntilla	Marcarita	Salesiano				
Profundidad [m]	3.00	0.50	1.00				
	320	0.60	1.20				

B.- GRANULOMETRIA (% en peso que pasa)

Abertura en Pulg	Abertura							
o n° ASTM	en [mm]							
Criba 3"	76.2		100	100				
2 1/2	63.5	100	56	93				
2	50.8	88		82				
1 1/2	38.1	82	49	76				
1	25.4	68	26	70				
3/4	19.1	64	19	64				
3/8	9.52	59	14	57				
Malla N° 4	4,76	56	11	49				
10	2.00	51	7	39				
20	0.84							
40	0.42	35	4	27				
60	0.25							
200	0.074	18	3	22				
Bolones sobre 3"	[%]							

C.- CONSTANTES FÍSICAS E HIDRICAS

Peso Específico Sobre Malla 4							
Peso Específico Bajo Malla 4	2.78	2.62	2.67				
Dens. Aparente [t/m3]							
Límite Líquido	24	67	25				
Límite Plástico	20	43	20				
Índice de Plasticidad	4	24	5				

D.- CLASIFICACIÓN

Símbolo del Grupo AASHTO							
Símbolo del Grupo USCS	GC-GM	GP	GC-GM				

E.- DATOS DE TERRENO

Dens. Nat. Hum. [t/m3]							
Dens. Nat. Seca [t/m3]							
Humedad Natural [%]	2.3	4.9	9.8				
Grado de Saturación [%]							
Razón de Vacíos							

F.- DENSIDAD RELATIVA

Densidad Mínima [t/m3]							
Densidad Máxima [t/m3]							
Densidad Relativa [t/m3]							

sqs

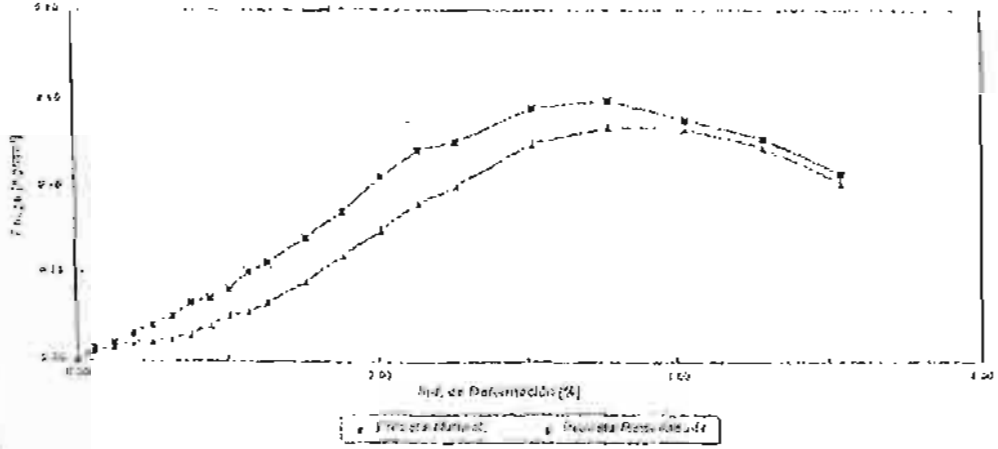
E[redacted]DZ COMPRESION NO CO[redacted]OA

O.E.	:	37.[illegible]
OBR	:	Mejoramiento [illegible], Calama
PO	:	3
[illegible] STRA.	:	sin
[illegible] ZON	:	P[illegible] km. 3[illegible]
[illegible]OT [illegible]	:	2[illegible]0-2.20 [illegible]

Indice de Deformación [%]		0.13	0.75	0.38	0.55	0.64	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.51	1.78	2.03	2.29	2.54	3.05	3.56	4.06	4.57	5.08
[illegible]	[illegible]	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	[illegible]	0.14	0.16	0.23	0.25	0.29	0.33	0.42	0.49	0.51	0.54	0.60	0.56	0.52	0.43
	[illegible]	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.24	0.31	0.37	0.41	0.50	0.54	0.53	0.50	0.41

	Probeta	
	[illegible]	[illegible]
[illegible]	0.60	0.54
Dens [illegible]	2.13	2.13
Dens [illegible] Seca [kg/dm3]	1.91	1.91
[illegible] [%]	1.5	1.6
[illegible] de Saturación [%]	73.7	76.8
[illegible]	0.41	0.41

GRAFICO DO[redacted]RESION NO DONONADA.



[illegible] - HORMIGONES - ASFALTOS — RAMON SUBERCASEAUX 3041 FONO-FAX 6931753 - 6932179 SANTIAGO

PROCTOR

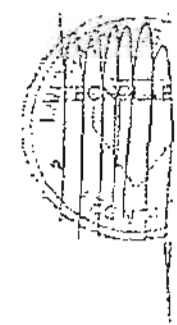
C.E: 37.686
Obra: Mejoramiento Canales Calemu,
Punco de ensanche.

Pozo	2						
Km.	5500-5800						
Horizonte	s/n						
Clasificación	SM(ML)						
Cota	2.00-2.20						

• D. M. P. (t/m3)	1.99						
Humedad óptima (%)	10.5						
Porcentaje Proctor (%)	-						

Observaciones : Densidad máxima decerminada en el ensaye PROCTOR 1534- II

pdlf.
Santiago, Septiembre 12 de 1996



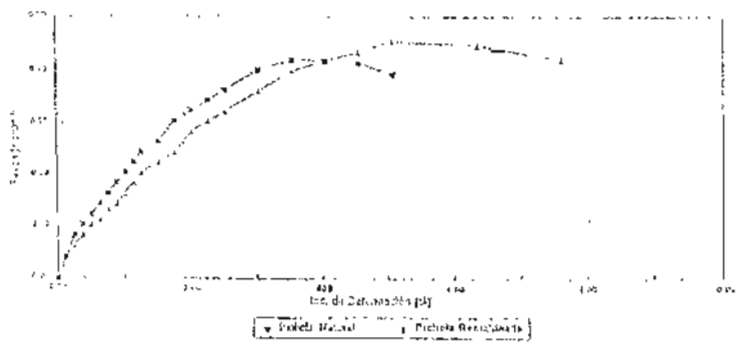
ENSAYE DE COMPRESIÓN NO CONFINADA

C.R.	:	37 E86
OBRA	:	Mejoramiento Canales, Catemu
POZO	:	2
MUESTRA	:	s/n
HORIZONTE	:	Pie Cruce Canal km. 1290.
COTAS	:	2.00-2.20 m.

Indice de Deformación [%]		0.13	0.25	0.38	0.51	0.64	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.52	1.78	2.03	2.29	2.54	3.05	3.56	4.06	4.57	5.08	6.35	7.62
Fuerza [kg/cm²]	Probeta Natural	0.04	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.31	0.33	0.35	0.36	0.38	0.40	0.42	0.43	0.43		
	Probeta Remoldeada	0.01	0.05	0.06	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.18	0.21	0.23	0.24	0.26	0.30	0.32	0.35	0.40	0.42	0.44	0.45	0.45	0.43

	Probeta	
	Natural	Remold
qu(max) [kg/cm²]	0.42	0.45
Dens Nat Hum [kg/dm3]	1.60	1.70
Dens Nat Seca [kg/dm3]	1.26	1.20
humedad natural [%]	33.9	32.8
Grado de Saturacion [%]	79.0	79.3
Razón de Vacios	1.17	1.19

GRÁFICO COMPRESIÓN NO CONFINADA.



TECNOLAB

PROCTOR

C.E: 37.686
Obra: Mejoramiento Canales Calemu,
Punto de ensanche.

Pozo	2						
Km.	5500-5800						
Horizonte	s/n						
Clasificación	SM(ML)						
Cota	2.00-2.20						

• D. M. P. (t/m3)	1.99						
Humedad óptima (%)	10.5						
Porcentaje Proctor (%)	-						

Observaciones : Densidad máxima determinada en el ensaye PROCTOR 1534- II

pdlf.
Santiago, Septiembre 12 de 1996

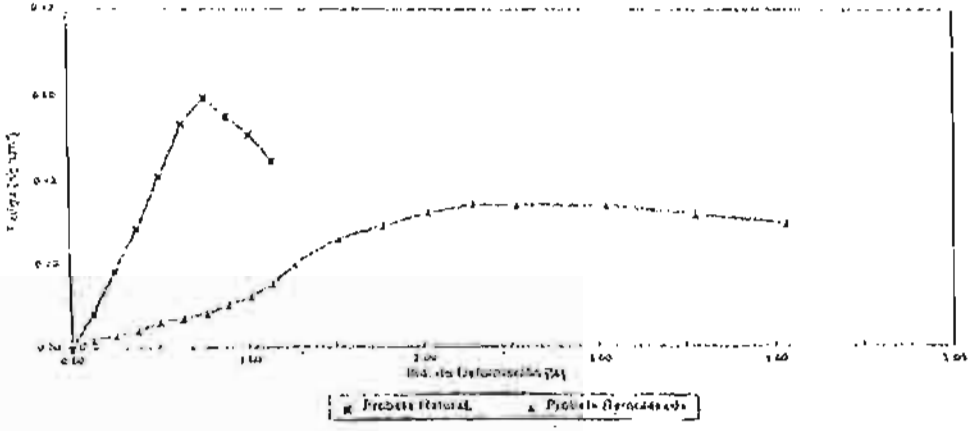
ENSAYO DE

C.E.	:	37.006-2
OBRA	:	[illegible] de Canales, Catamu.
POZO	:	8 [illegible]
MUESTRA	:	[illegible]
HORIZON	:	Pie. km. 1050
COTAS	:	2.90-2.20 m.

Índice de Deformación [%]		0.13	0.25	0.38	0.51	0.64	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.52	1.78	2.03	2.29	2.54	3.05	3.56	4.06		
Fuerza (kg/cm²)	Probeta Natural	0.08	0.19	0.29	0.41	0.51	0.60	0.56	0.51	0.45											
	Probeta Remoldeada	0.02	0.01	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.12	0.15	0.21	0.27	0.30	0.32	0.35	0.34	0.34	0.32	0.30		

	Probeta Natural	Probeta Remoldeada
qu(max) (kg/cm²)	0.60	1.35
Dep. Nat Hum (kg/dm3)	1.60	60
Dep. Nat Seca (kg/dm3)	1.59	60
Humedad natural (%)	19.1	7.9
Grado de Saturación (%)	74.7	71.9
Razón de Vacíos	0.68	0.66

GRAFICO COMPRESION NO CONFINADA.



ELOS - AGUAS - HORMIGONES - ASFALTOS — RAMON SUBERCASEAUX 304 | FONO - FAX 6531153 - 6532177 S

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

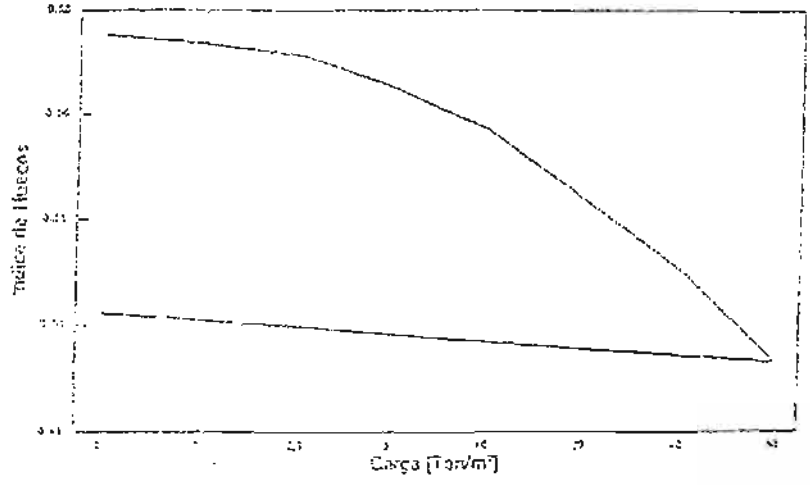
C.E.: 07.586
Obra: Mejoramiento Canales Catemu.
Descarga Margarita.

Datos muestra			
Pozo	1	Horizont. s/n	
Km	1282	P. espec	2.75
Muestra s/n		Humeda	14.2
Cota in. 2.00 m.		del *final*	242
Cota fin 2.20 m.			

	Natural	Inicial	Final
Peso suelo húmedo * tara [g]	734.3	752.4	742.7
Peso tara [g]	504.2	504.2	504.2
Peso suelo seco [g]	201.4	201.4	201.4
Area probeta [cm²]	40.0	40.0	40.0
Altura muestra [mm]	30.0	30.0	27.6
Peso unitario húmedo [Vm3]	1.92	2.07	2.16
Humedad %	14.2	23.2	18.4
Peso unitario seco [t/m3]	1.58	1.68	1.83
Relación de vacíos	0.633	0.633	0.506
Grado de saturación %	61.3	100	100

Cargas	1	2.5	5	10	20	40	80	160	40	20	10	5	2.5	1	0
Deform. *	8	13	46	83	142	264	254		279		266			248	242
Rel. vacíos	0.634	0.628	0.613	0.593	0.561	0.527	0.483		0.486		0.493			0.503	0.506
Recompr. Deformac. Rel. vacíos															

GRAFICO DE CONSOLIDACION

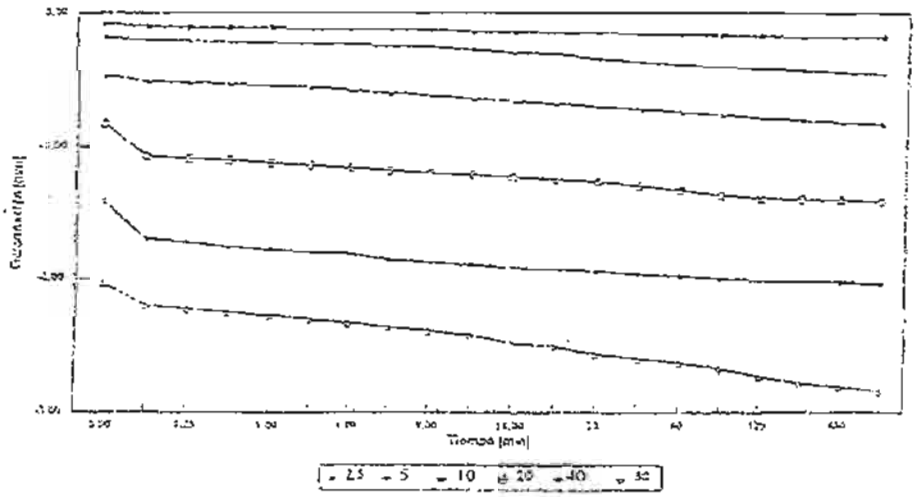


VELOCIDAD DE CONSOLIDACIÓN

C. E. : 37.586
Obra : Mejoramiento Canales Catemu.
Pozo : 1
Muestra : s/n
Cotas : 2.00 m. - 2.20 m.

CARGA (kg)	TIEMPO (min.)																		
	0.00	0.10	0.15	0.20	1.00	2.25	4.00	6.15	9.00	12.25	16.00	20.25	25	40	60	90	120	150	180
Compresión																			
2.5	S	10	U	M	U	12	12	12	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	[illegible]
5	15	20	21	22	22	23	24	25	26	28	30	31	35	37	39	44	41	43	[illegible]
10	43	51	52	53	54	55	51	60	62	64	66	64	70	72	74	76	75	80	[illegible]
20	O	107	109	110	112	114	116	118	120	121	123	123	127	130	133	137	139	140	[illegible]
40	142	170	173	176	178	180	182	184	188	190	192	193	195	197	195	203	201	202	203
80	204	220	223	225	227	230	231	236	239	242	244	251	157	260	263	267	273	274	[illegible]

GRAFICO VELOCIDAD DE CONSOLIDACIÓN



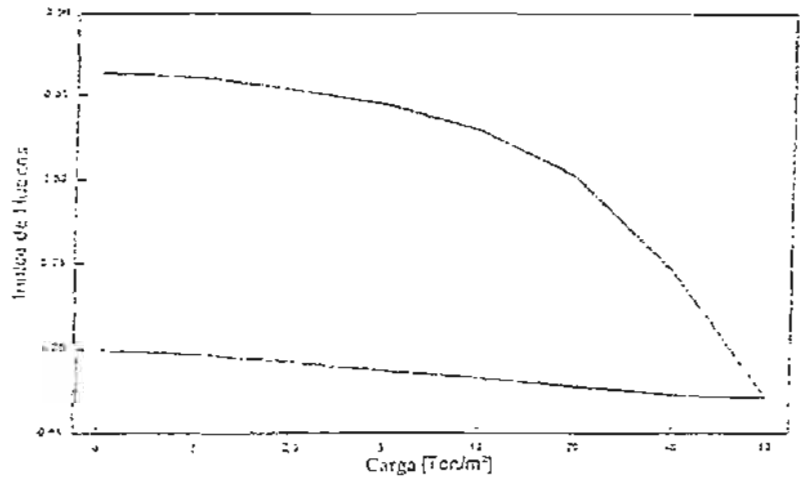
ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

C.E.:	37 686-2		
Obra:	Mejoramiento Canales Catemu, Desagüe Reinoso descarga al río.		
	Datos muestra		
Pozo	2	Horizont.	s/n
Km.	8.99	P. espec.	2.74
Muestra	s/n	Húmeda	24.9
Cota in.	2.20 m.	def final	265
Cota fin	2.50 m.		

	Natural	Inicial	Final
Peso suelo húmedo + tara [g]	695.5	707.1	596.5
Peso tara [g]	475.1	475.1	475.1
Peso suelo seco [g]	176.4	176.4	176.4
Area probeta [cm²]	40.0	40.0	40.0
Altura muestra [mm]	30.0	30.0	27.4
Peso unitario húmedo [t/m3]	1.84	1.93	2.02
Humedad %	24.9	31.5	25.5
Peso unitario seco [t/m3]	1.47	1.47	1.61
Relación de vacíos	0.864	0.864	0.699
Grado de saturación S	79.1	100	100

Cargas	1	2.5	5	10	20	40	80	160	40	20	10	5	2.5	1	0
Deform.	4	17	31	58	100	190	310		307		292			269	265
Rel. vacíos	0.861	0.853	0.844	0.829	0.801	0.745	0.571		0.673		0.682			0.596	0.699
Recompr.															
Deformac.															
Rel. vacíos															

GRÁFICO DE CONSOLIDACIÓN

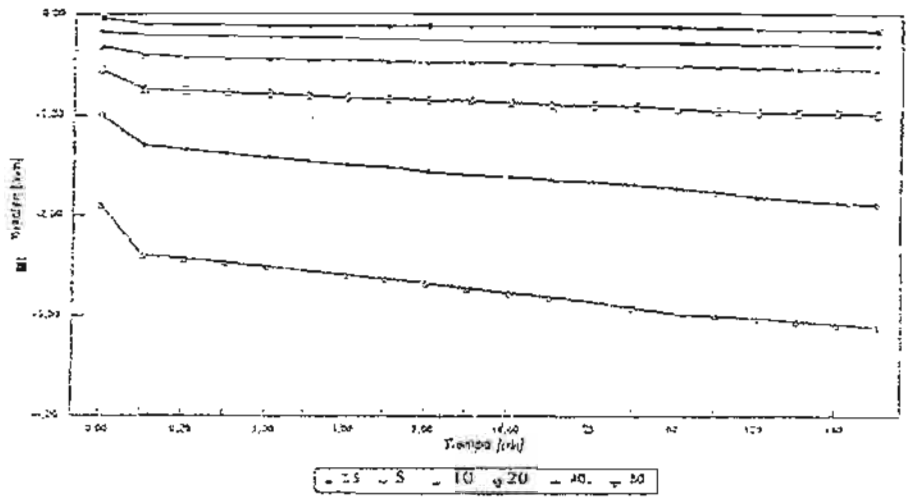


VELOCIDAD DE CONSOLIDACIÓN

C. E. : 37.846-2
Obra : Mejoramiento Canales Cocalan
Pozo : 2
Muestra : s/n
Cota : 2,20 m - 2,50 m.

CARGA (kg/cm²)	TIEMPO (min.)																		
	0,00	0,10	0,25	0,70	1,00	2,25	4,00	6,25	9,00	12,25	16,00	20,25	U	40	60	90	120	150	180
Compresión																			
2,5	4	10	10	10	U	U	U	12	12	12	12	13	13	13	14	U	15	15	15
5	17	20	21	21	21	22	23	24	24	24	27	28	29	29	29	29	30	30	31
10	31	38	42	43	44	45	45	47	47	47	48	50	51	52	52	53	54	55	55
20	56	73	82	86	92	94	95	97	97	97	98	99	99	99	99	99	98	98	99
40	103	130	154	165	175	178	180	183	187	189	192	195	197	198	199	199	199	199	199
80	150	193	233	247	271	286	299	304	308	313	317	321	324	328	329	330	330	331	331

GRAFICO VELOCIDAD DE CONSOLIDACIÓN



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

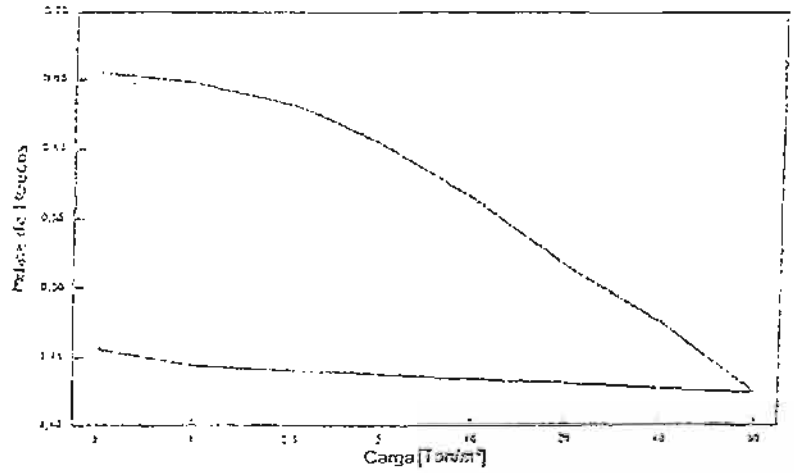
C.E.: 17.586-3
Obra: Mejoramiento Canales Caremo, Descarga El Pimiento
Datos muestra

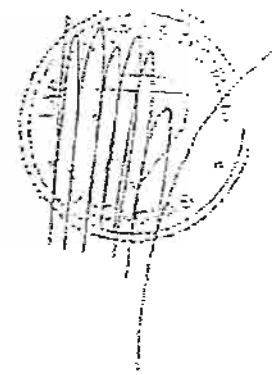
Pozo:	1	Horizont:	s/n
Km.	1512	P. espec	2,75
Muestra	s/n	Húmeda	4,3
Cota in	2,00 m.	def. final	37S
Cota fin	2,20 m.		

	Natural	Inicial	Final
Peso suelo húmedo + tara [g]	676.9	715.7	700.7
Peso tara [g]	468,1	468,1	468,1
Peso suelo seco [g]	200.2	200.2	200.2
Area probeta [cm²]	40.0	40.0	40.0
Altura muestra [mm]	30.0	30.0	26.3
Peso unitario húmeda [t/m3]	1.74	2.06	2.22
Humedad %	4.3	23.7	16.2
Peso unitario seco [t/m3]	1.67	1.67	1.91
Relación de vacios	0.655	0.655	0.448
Grado de saturación %	13.2	100	100

Cargas	1	2,5	5	10	20	40	80	160	40	20	10	5	2,5	1	0,5
Deform	14	42	95	166	253	327	419		413		401			323	369
Rel. vacios	0.647	0.632	0.602	0.583	0.515	0.474	0.424		0.427		0.434			0,443	0.456
Recompr. Deformac. Rd. vacios															

GRAFICO DE CONSOLIDACIÓN



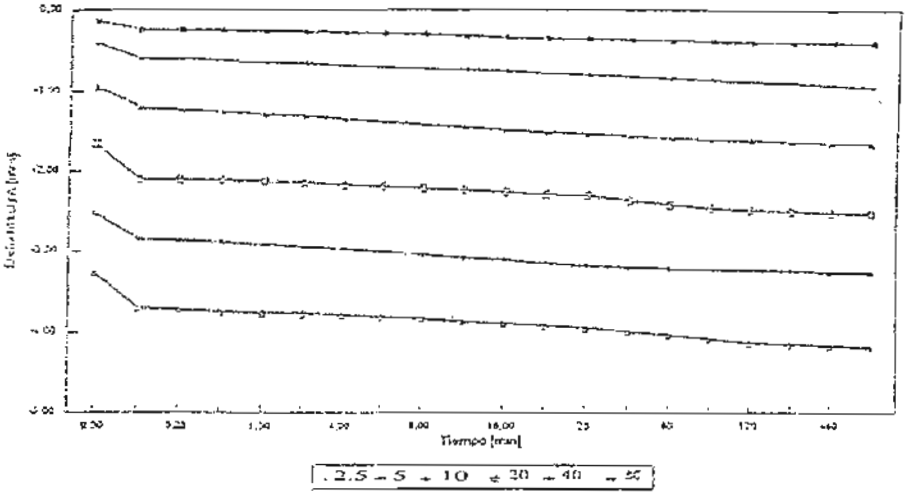


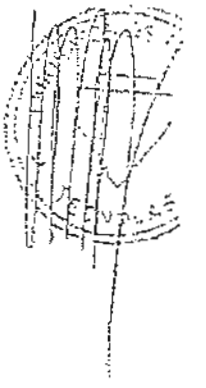
VELOCIDAD DE CONSOLIDACIÓN

C. E. : 37.586-3
Obra : Mejoramiento Canales Catemu.
Pozo : I
Muestra: s/n
Cota : 2,00 m. - 2,20 m.

CARGA (Kg/cm²)	TIEMPO (min.)																		
	0.01	0.10	0.25	0.50	1.00	2.25	4.00	4.25	9.00	12.25	16.00	20.25	25	40	60	90	120	150	435
Compresión																			
2,5	14	24	25	23	26	27	28	29	30	32	34	33	36	37	38	39	40	41	41
5	42	60	61	63	65	67	69	71	73	74	76	78	80	82	84	86	88	90	90
10	93	120	125	126	129	131	133	138	142	144	143	153	155	156	157	160	161	163	162
20	156	210	211	212	213	213	214	220	222	227	227	229	231	237	242	246	248	250	252
40	233	253	237	239	292	295	291	301	303	303	311	313	318	320	321	322	322	324	324
80	327	370	372	373	376	377	379	381	383	386	389	392	393	399	403	408	413	415	417

GRAFICO VELOCIDAD DE CONSOLIDACIÓN





ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

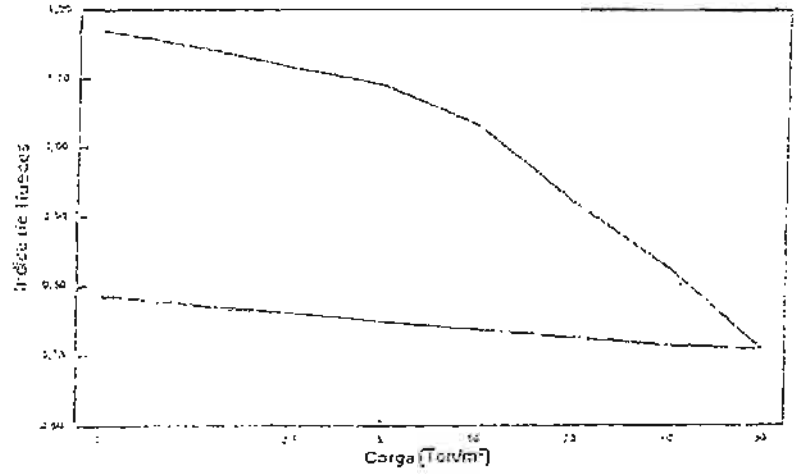
C.E.: 37.686-4
Obra: Mejoramiento Canales Catemu, Sector Puente

Datos muestra			
Pozo	2	Horizont. s/n	
Km.	1290	P. espec.	2.72
Muestra	s/n	Humeda	34.8
Cota in.	2.00 m.	del final	530
Cota fin	2.20 m.		

	Natural	Inicial	Final
Peso sudo húmedo + tara [g]	689.3	701.5	680.4
Peso tara [g]	486.5	486.5	436.5
Peso suelo seco [g]	150.4	150.4	150.4
Area probeta [cm²]	40.0	40.0	40.0
Altura muestra [mm]	30.0	30.0	24.7
Peso unitario húmedo [t/m3]	1.99	1.79	1.96
Humedad %	34.8	43.0	25.5
Peso unitario seco [t/m3]	1.25	1.25	1.52
Relación de vacias	1.170	1.170	0.786
Grado de saturación %	80.9	100	100

Cargas	1	2.5	5	10	20	40	30	160	40	20	10	5	2.5	1	0
Deform	34	75	110	192	344	473	825		629		605			550	530
Rd. vacios	1.145	1.115	1.090	1.031	0.921	0.324	0.710		0.715		0.732			0.772	0.786
Recompr.															
Deformac.															
Rd. vacios															

GRÁFICO DE CONSOLIDACIÓN

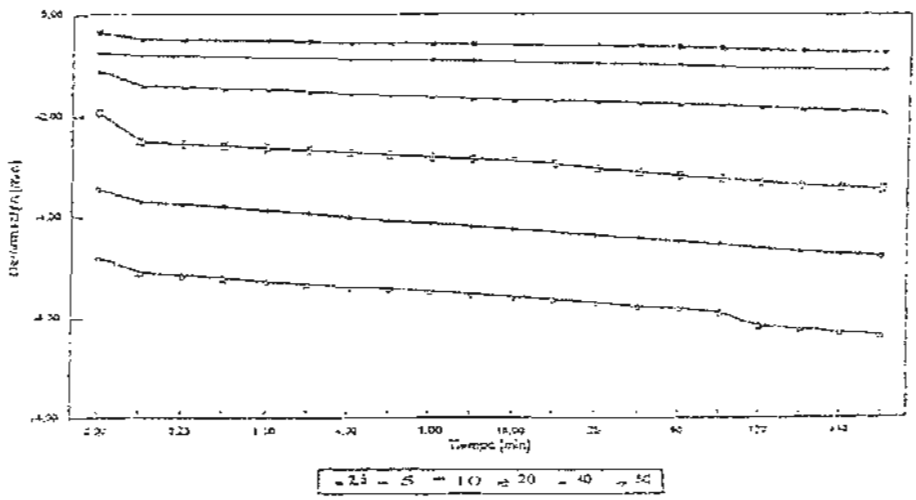


VELOCIDAD DE CONSOLIDACIÓN

C. E. : 37.636-4
Obra : Mejoramiento Canales Catemu
Pozo : 2
Muestra: s/n
Cota : 2.00 m. - 2.20 m.

CARGA (cm²)	TIEMPO (min.)																			
	0.00	0.10	0.25	0.50	1.00	2.25	4.00	6.25	9.00	12.25	16.00	20.25	25	40	60	90	120	150	180	1[illegible]
Compresión																				
2.5	34	44	50	51	52	54	56	57	58	60	61	62	63	64	66	68	70	72	74	7[illegible]
5	75	80	82	M	86	U	89	90	91	93	95	97	99	100	102	105	107	108	109	1[illegible]
10	110	140	143	144	146	152	157	160	163	166	169	171	173	175	174	180	183	187	190	19[illegible]
20	192	230	256	262	264	269	272	276	283	247	291	296	305	312	319	325	331	337	341	34[illegible]
40	344	370	376	381	389	394	402	409	413	419	423	431	437	443	449	453	462	469	473	47[illegible]
80	475	510	516	525	529	534	539	543	544	554	560	565	571	579	593	591	617	624	630	63[illegible]

GRAFICO VELOCIDAD DE CONSOLIDACION



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

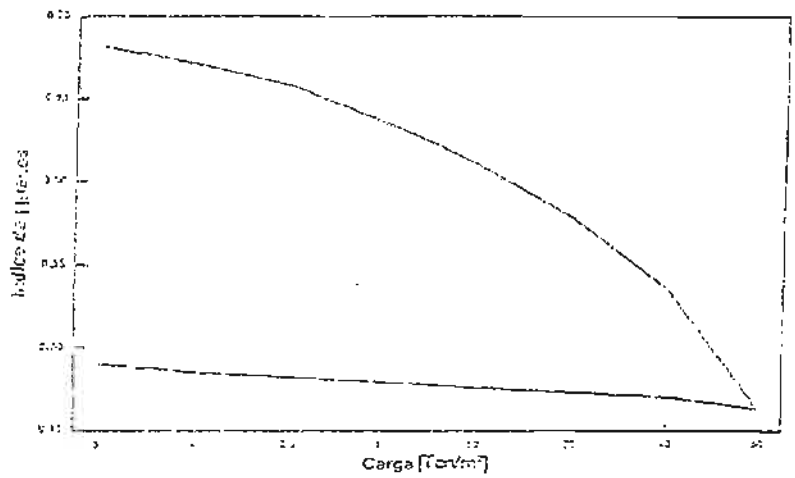
C.E.: 37 585-5
Obra: Mejoramiento Canales Catemu, Sector Puente.
Datos muestra

Pozo	6	Horizont s/n	
Km	3030	P. espec	2,67
Muestra	s/n	Humedad	19,1
Cota In	2,00 m.	def final	342
Cota In	2,20 m.		

	Natural	Inicial	Final
Peso suelo húmedo + tara (g)	595.1	707.4	593.7
Peso tara (g)	468.2	468.2	468.2
Peso suelo seco (g)	190.5	190.5	190.5
Area probeta (cm²)	40.0	40.0	40.0
Altura muestra (mm)	30.0	30.0	28.5
Peso unitario húmedo (t/m3)	1.89	1.99	2.12
Humedad %	19.1	25.5	18.4
Peso unitario seco (t/m3)	1.59	1.59	1.79
Relación de vacios	0.682	0.682	0.490
Grado de saturación %	74.5	100	100

Cargas	1	2.5	5	10	20	40	80	160	40	20	10	5	2.5	1	0
Deform	20	44	82	122	185	252	390		377		369			351	342
Rel. vacios	0671	0.657	0.536	0.618	0.578	0.535	0.463		0.470		0.475			0.495	0.490
Recompr. Deformac. Rd. vacios															

GRAFICO DE CONSOLIDACION

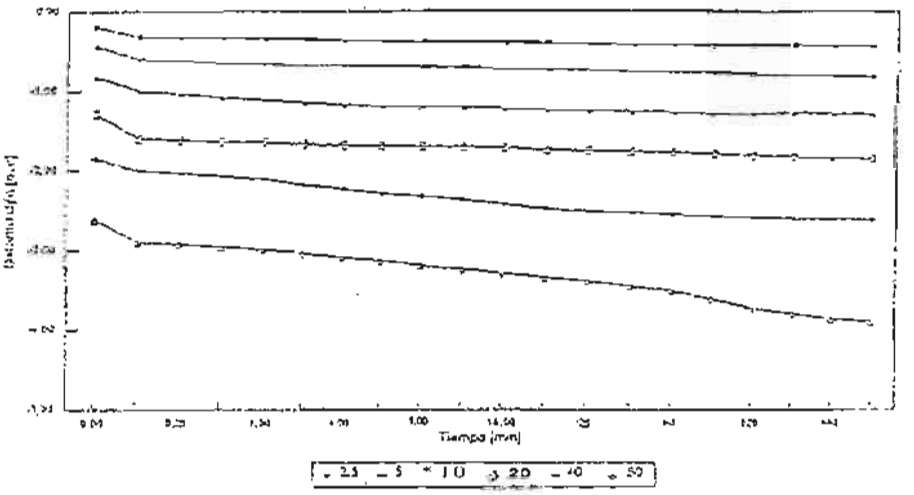


VELOCIDAD DE CONSOLIDACIÓN

C. E. : 37.636-5
Obra : Mejoramiento Canales Catemu.
Pozo : 8
Muestra: s/n
Cota : 200 m. - 220 m.

CARGA (kg/m²)	TIEMPO (min.)																		
	0.00	0.10	0.25	0.50	1.00	2.25	4.00	6.25	9.00	12.25	16.00	20.25	25	40	60	90	120	150	180
Compresión																			
2.5	20	32	33	34	35	36	37	38	39	39	40	40	41	42	42	43	43	43	44
5	44	60	62	63	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	79	79	5
10	82	100	103	102	111	113	117	115	119	120	122	123	124	125	126	127	127	127	132
20	128	160	162	167	168	167	168	169	170	171	172	174	175	176	177	179	181	182	184
40	125	200	204	202	212	219	224	229	233	237	243	272	251	253	255	257	259	261	25
80	282	290	293	296	299	304	309	313	319	324	329	331	339	342	346	362	373	379	424

GRAFICO VELOCIDAD DE CONSOLIDACIÓN



CERTIFICADO DE ENSA YE N° 37.666

Obra : Mejoramiento Canales Catemu.
Muestra : Punto de Ensanche. Km. 1800-1900. Pozo 1. 2.00-2.20 m.

ENSAYO TRIAXIAL

Tipo de ensayo: CU Sigma 3 2.00 [Kg/cm²]

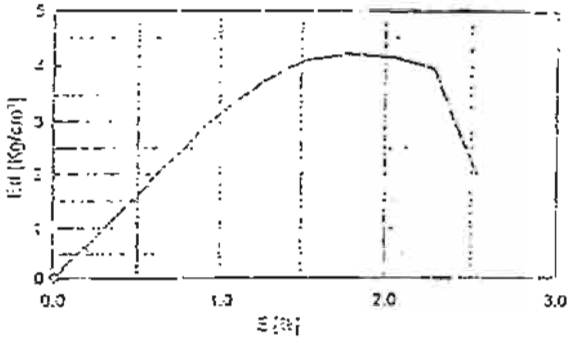
Densidad Húmeda : 1.92 [gr/cm3] Humedad 4.1 [%]
Densidad Seca : 1.84

E [%]	DU [Kg/cm²]	Ed [Kg/cm²]	p [Kg/cm²]	q [Kg/cm²]
0.127	0.02	0.44	2.20	0.22
0.254	0.05	0.83	2.36	0.42
0.381	0.12	1.24	2.50	0.52
0.503	0.18	1.52	2.63	0.81
0.635	0.24	2.07	2.80	1.04
0.762	0.31	2.46	2.92	1.23
0.889	0.40	2.88	3.04	1.44
1.016	0.42	3.19	3.18	1.60
1.143	0.44	3.48	3.30	1.74
1.270	0.47	3.76	3.41	1.88
1.524	0.48	4.12	3.58	2.06
1.778	0.49	4.22	3.62	2.11
2.032	0.50	4.17	3.59	2.09
2.286	0.50	3.96	3.48	1.93

Probeta: Remoldeada Diámetro y altura [cm]: 5.00 x 10.00
Centra Presión [Kg/cm²]: 2.00 Presión Cámara [Kg/cm²]: 4.00

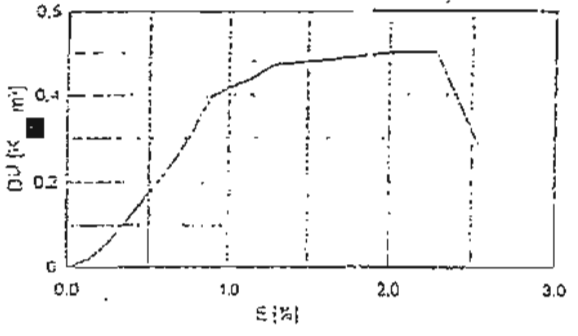
ENSAYO TRIAXIAL Ed v/s E

Mej. Canales Catemu. P-1. 2.00-2.20 m. Sigma3=2.0 [kg/cm²]



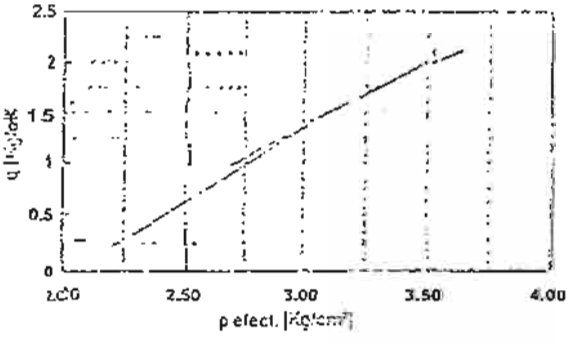
ENSAYO TRIAXIAL DU v/s E

Mej. Canales Catemu. P-1. 2.00-2.20 m. Sigma2=2.0 [kg/cm²]



ENSAYO TRIAXIAL q v/s p efec.

Mej. Canales Catemu. P-1. 2.00-2.20 m. Sigma3=2.0 [kg/cm²]



CERTIFICADO DE ENSAYE N°. 37.686

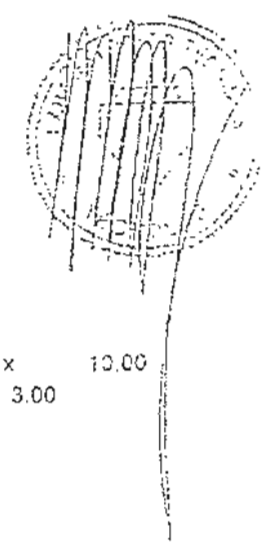
Obra : Mejoramiento Canales Catemu.
Muestra : Punto de Ensanche. Km. 1800-1900, Pozo 1. 2.00-2.20 m.

ENSAYO TRIAXIAL

Tipo de ensayo: CIU Sigma 3 : 1.00 [Kg/cm²]

Densidad Húmeda : 1.92 [gr/cm3] Humedad : 3.2 [%]
Densidad Seca : 1.86

E [%]	DU [Kg/cm²]	Ed [Kg/cm²]	P [Kg/cm²]	q [Kg/cm²]
0.127	0.04	0.15	1.04	0.08
0.254	0.06	0.25	1.07	0.13
0.381	0.09	0.39	1.11	0.20
0.508	0.12	0.54	1.15	0.27
0.635	0.13	0.69	1.22	0.35
0.762	0.15	0.81	1.25	0.41
0.889	0.18	0.97	1.31	0.49
1.016	0.19	1.11	1.37	0.56
1.143	0.24	1.29	1.41	0.65
1.270	0.25	1.42	1.46	0.71
1.524	0.29	1.65	1.54	0.83
1.778	0.32	1.85	1.61	0.93
2.032	0.30	1.96	1.63	0.98
2.286	0.31	2.02	1.70	1.01
2.540	0.28	1.93	1.69	0.97



Probeta: Remoldeada Diámetro y altura [cm]: 5.00 x 10.00
Contra Presión [K/cm²]: 2.00 Presión Cámara [K/cm²]: 3.00

CERTIFICADO DE ENSAYE N° 37.686

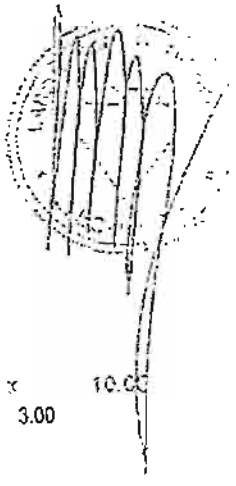
Obra : Mejoramiento Canales Catemu.
Muestra : Punto de Ensanche. Km. 1800-1900, Pozo 1. 2.00-2.20 m.

ENSAYO TRIAXIAL

Tipo de ensayo: CiU Sigma 3 : 0.50 [Kg/cm²]

Densidad Húmeda : 1.91 [gr/cm3] Humedad : 3.7 [%]
Densidad Seca : 1.84

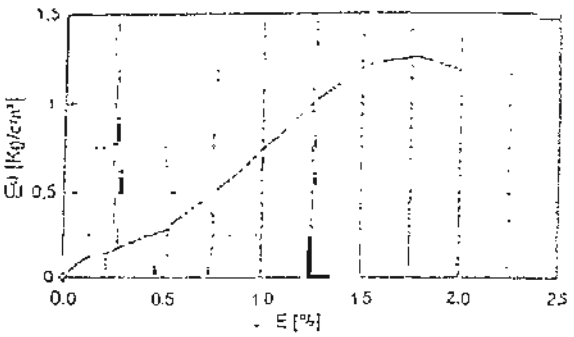
E [%]	DU [Kg/cm²]	Ed [Kg/cm²]	$\bar{p}$ [Kg/cm²]	q [Kg/cm²]
0.127	0.02	0.12	0.54	0.06
0.254	0.03	0.18	0.56	0.09
0.381	0.04	0.24	0.58	0.12
0.508	0.05	0.29	0.60	0.15
0.635	0.07	0.40	0.63	0.20
0.762	0.08	0.51	0.68	0.26
0.889	0.10	0.52	0.71	0.31
1.016	0.12	0.76	0.76	0.38
1.143	0.13	0.89	0.82	0.45
1.270	0.15	1.03	0.87	0.52
1.524	0.16	1.22	0.95	0.61
1.778	0.15	1.27	0.99	0.64
2.032	0.16	1.17	0.93	0.59



Probeta: Remoldeada Diámetro y altura (cm): 5.00 x 10.00
Contra Presión [k/cm²]: 2.50 Presión Cámara [k/cm²]: 3.00

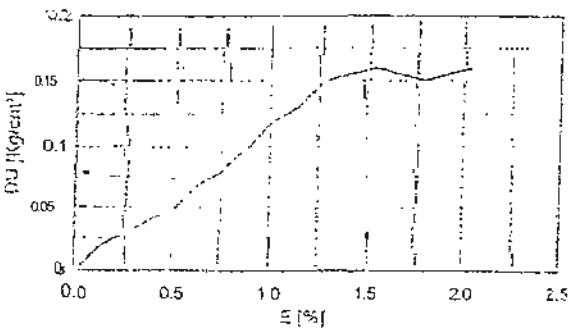
ENSAYO TRIAXIAL Ed v/s E

Mej. Canales Catemu. P-1. 2.00-2.20 m. Sigma3=0,5 [kg/cm²]



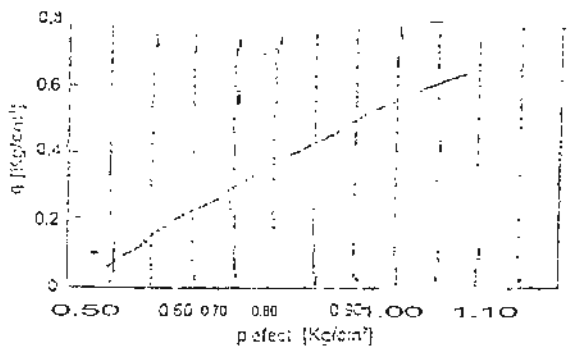
ENSAYO TRIAXIAL DU v/s E

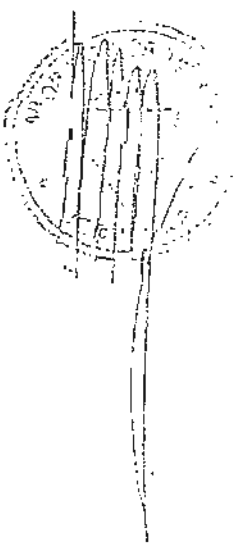
Mej. Canales Catemu. P-1. 2,00-2.20 m. Sigma3=0,5 [kg/cm²]



ENSAYO TRIAXIAL q v/s p efec.

Mej. Canales Catemu. P-1. 2.00-2.20 m. Sigma3=0,5 [kg/cm²]





CERTIFICADO DE ENSAYE N°. 37.686

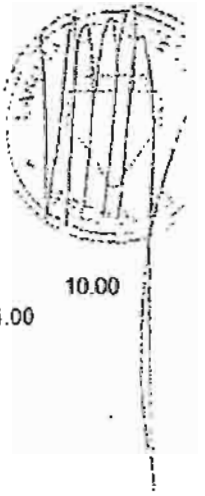
Obra : Mejoramiento Canales Catemu.
Muestra : Punto de Ensanche. Km. 5500-5800. Pozo 2. 2.00-2.20 m.

ENSAYO TRIAXIAL

Tipo de ensayo: CIU Sigma 3 : 2.00 [Kg/cm²]

Densidad Húmeda : 2.16 [gr/cm3] Humedad : 7.9 [%]
Densidad Seca : 2.00

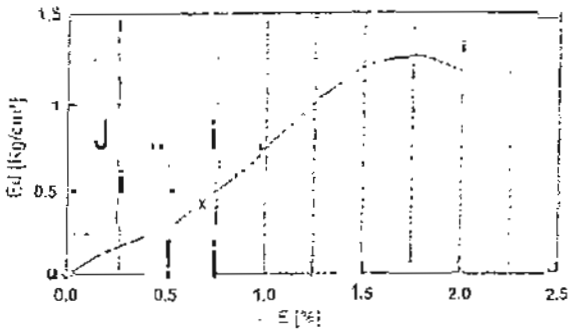
E [%]	DU [Kg/cm²]	Ed [Kg/cm²]	P [Kg/cm²]	q [Kg/cm²]
0.127	0.06	0.12	2.00	0.06
0.254	0.10	0.22	2.01	0.11
0.381	0.15	0.35	2.03	0.18
0.508	0.18	0.43	2.04	0.22
0.635	0.21	0.51	2.05	0.26
0.762	0.24	0.60	2.06	0.30
0.889	0.30	0.74	2.07	0.37
1.015	0.34	0.86	2.09	0.43
1.143	0.39	0.98	2.10	0.49
1.270	0.43	1.08	2.11	0.54
1.524	0.52	1.32	2.14	0.66
1.778	0.59	1.50	2.16	0.75
2.032	0.65	1.66	2.18	0.83
2.286	0.72	1.84	2.20	0.92
2.540	0.77	1.98	2.22	0.99
3.048	0.86	2.25	2.27	1.13
3.556	0.90	2.39	2.30	1.20
4.064	0.91	2.41	2.30	1.21
4.572	0.92	2.07	2.11	1.04



Probeta: Remoldeada Diámetro y altura [cm]: 5.00 x 10.00
Contra Presión [k/cm²]: 2.00 Presión Cámara [k/cm²]: 4.00

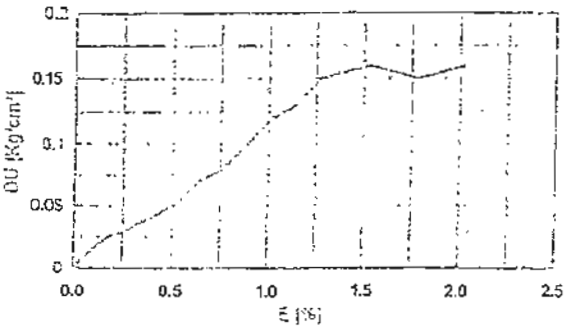
ENSAYO TRIAXIAL Ed v/s E

Mej. Canales Catemu. P-1, 2.00-2.20 m. Sigma3=0.5 [kg/cm²]



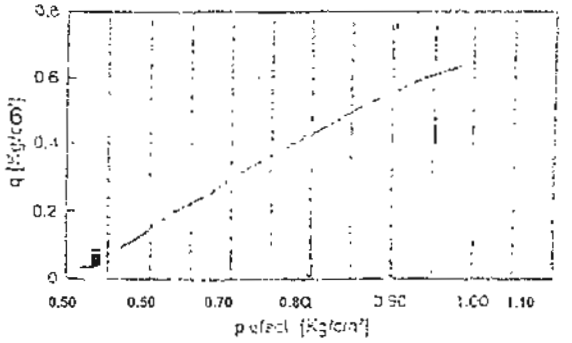
ENSAYO TRIAXIAL DU v/s E

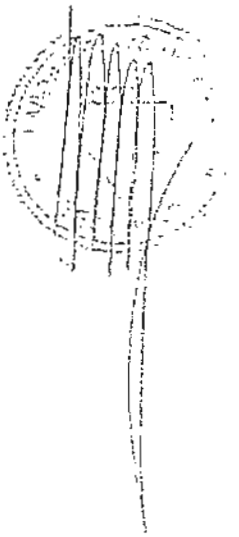
Mej. Canales Catemu. P-1, 2.00-2.20 m. Sigma3=0.5 [kg/cm²]



ENSAYO TRIAXIAL q v/s p efec.

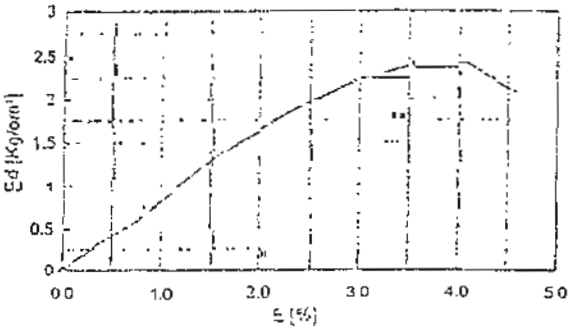
Mej. Canales Catemu. P-1, 2.00-2.20 m. Sigma3=0.5 [kg/cm²]





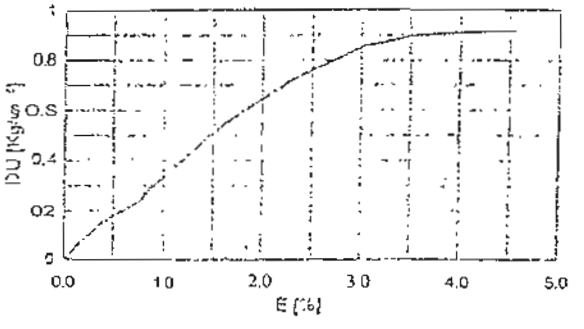
ENSAYO TRIAXIAL Ed v/s E

Mej. Canales Catemu. P-2. 2.00-2.20 m. Sigma3=2,0 [kg/cm²]



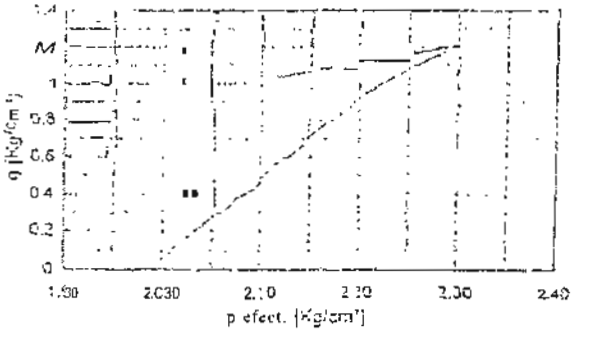
ENSAYO TRIAXIAL DU v/s E

Mej. Canales Catemu P-2, 2,00-2.20 m. Sigma3=2,0 [kg/cm²]



ENSAYO TRIAXIAL q v/s p efec.

Mej. Canales Catemu. P-2. 2.00-2.20 m. Sigma3=2.0 [kg/cm²]



CERTIFICADO DE ENSAYE N° 32.686

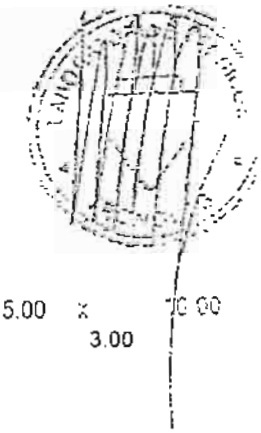
Obra Mejoramiento Canales Catemu.
Muestra : Punto de.Ensanche. Km. 5500-5800. Pozo 2. 2.00-2.20 m.

ENSAYO TRIAXIAL

Tipo de ensayo: CIU Sigma 3 : 1.00 [Kg/cm²]

Densidad Húmeda : 2.14 [gr/cm3] Humedad : 7.5 [%]
Densidad Seca : 1.99

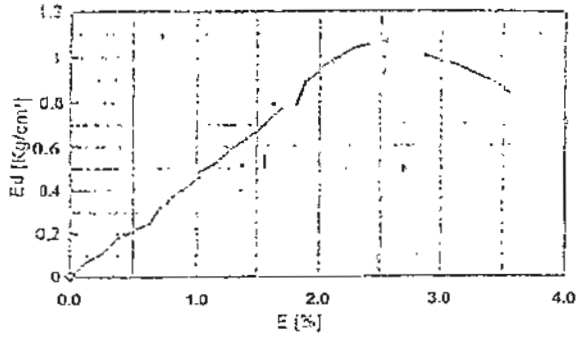
E [%]	DU [Kg/cm²]	Ed [Kg/cm²]	$\bar{p}$ [Kg/cm²]	q [Kg/cm²]
0.127	0.02	0.05	1.01	0.03
0.254	0.05	0.12	1.01	0.06
0.381	0.09	0.24	1.03	0.12
0.508	0.10	0.28	1.04	0.14
0.635	0.12	0.37	1.07	0.19
0.762	0.14	0.47	1.10	0.24
0.889	0.17	0.58	1.12	0.29
1.016	0.20	0.72	1.16	0.36
1.143	0.21	0.79	1.19	0.40
1.270	0.21	0.86	1.22	0.43
1.524	0.26	1.11	1.30	0.56
1.778	0.31	1.34	1.36	0.67
2.032	0.36	1.52	1.40	0.76
2.286	0.37	1.71	1.49	0.86
2.540	0.38	1.76	1.50	0.88
3.048	0.35	1.68	1.45	0.84
3.556	0.39	1.42	1.32	0.71



Probeta: Remoldeada Diámetro y altura [cm]: 5.00 x 10.00
Contra Presión [k/cm²]: 2.00 Presión Cámara [k/cm²]: 3.00

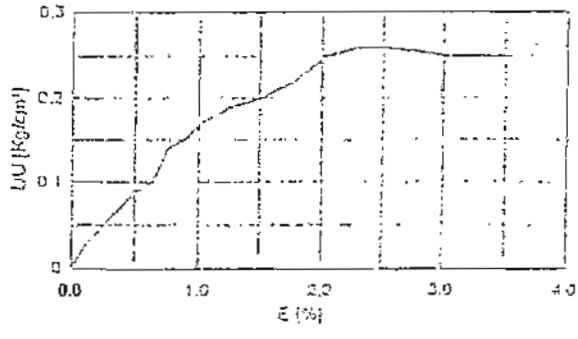
ENSAYO TRIAXIAL Ed v/s E

Mej. Canales Calemu. P-2. 2,00-2.20 m. Sigma3=0.5 [kg/cm²]



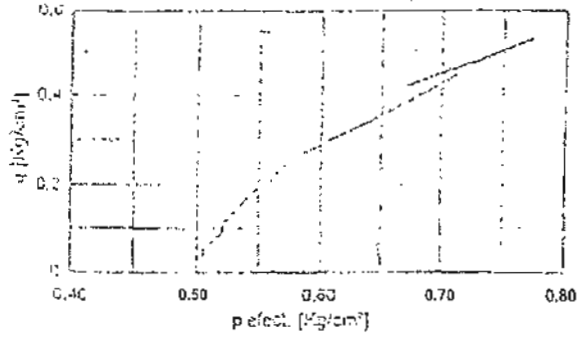
ENSAYO TRIAXIAL DU v/s E

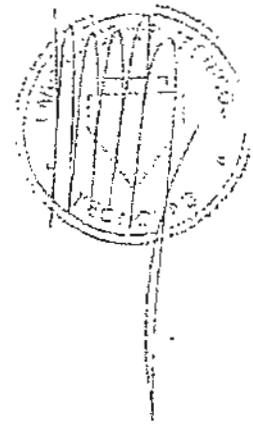
Mej. Canales Catemu. P-2. 2,00-2.20 m. Sigma3=0.5 [kg/cm²]



ENSAYO TRIAXIAL q v/s p efec.

Mej. Canales Catemu. P-2. 2,00-2.70 m. Sigma3=0.5 [kg/cm²]





CERTIFICADO DE ENSAYE N° 37.741

Informa resultados de ensayes de peso unitario efectuados sobre muestras de suelo enviadas por el interesado, procedentes de Obra: Mejoramiento canal Caterna, sector bocatoma y desagüe Santa Isabel km 2200.

Los ensayes fueron solicitados a TECNOLAB LTDA., por GEOCAV LTDA., Providencia 175, Oficina 42, Providencia.

Los resultados obtenidos se presentan en tablas anexas.-

pdlf.
Santiago, Septiembre 16 de 1996.

TECNOLAB LTDA.

ENSAYES DE LABORATORIO

C. E. 37.741

Mejoramiento canal Catemu

A.- IDENTIFICACION

Pozo N°	1	2		1			
Muestra N°							
Horizonte N°	sector bocatoma			desacce Sta. Isabel km 2200			
Profundidad [m]	3.00	2.00		4.00			
	3.20	2.20		4.20			

B.- GRANULOMETRIA (% en peso que pasa)

Abertura en Pulg	Abertura							
o n° ASTM	en [mm]							
Criba 3"	75.2							
2 1/2	63.5							
2	50.8							
1 1/2	38.1							
1	25.4							
3/4	19.1							
3/8	9.52							
Malla N° 4	4.76							
10	2.00							
20	0.34							
40	0.42							
60	0.25							
200	0.074							
Bolones sobre 3"	[%]							

C.- CONSTANTES FISICAS E HIDRICAS

Peso Especifico Sobre Malla 4							
Peso Especifico Bajo Malla 4							
Dens. Aparente [t/m3]							
Limite Liquido							
Limite Plástico							
Indice de Plasticidad							

D.- CLASIFICACIÓN

Simbolo del Grupo AASHTO							
Simbolo del Grupo USCS							

E.- DATOS DE TERRENO

Dens. Nat. Hum. [t/m3]	2.09	2.13		2.20			
Dens. Nat. Seca [t/m3]	2.03	2.06		2.14			
Humedad Natural [%]	2.8	3.5		3.0			
Grado de Saturación [%]							
Razón de Vacios							

F.- DENSIDAD RELATIVA

Densidad Mínima [t/m3]							
Densidad Máxima [t/m3]							
Densidad Relativa [t/m3]							

NUEVAS CALICATAS

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafia

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripción Visual
C-1	1	0.00-0.80	0.80	Grava areno limosa color café claro, humedad baja, compacidad media, estructura homogenea, gravas de cantos angulares tamaño maximo 3", y clastos sobre 25".
	2	0.80-5.00	4.20	Arena limosa color blanquizco, humedad baja, plasticidad nula, estructura homogenea. No se observa sedimentacion en el fondo. Ladera izquierda del canal con manposteria de piedra.

Laboratorista Responsable:	N. Urrutia	Fecha Observacion	07/01/2012

OBSERVACIONES
A petición del cliente se solicito cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafía

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripción Visual
C-2	1	0.00-1.80	1.80	Arcilla arenosa color café claro, humedad baja, plasticidad media a alta, estructura homogenea, consistencia alta. Se observan abundantes raices y raicillas.
	2	1.80-2.00	0.20	Roca descompuesta color gris café, que al moler se comporta como grava limo arcillosa.

Laboratorista Responsable:	N. Urrutia	Fecha Observacion	03/01/2012

OBSERVACIONES
A petición del cliente se solicita cambio de formato segun carta con fecha 10 de enero de 2012

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista	NICOLAS URRUTIA C.
Mandante	ING. SR. LUIS ARRAU
Obra	PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región	CATEMU V REGION
Area de Ensayo	SUELOS

Estratigrafia

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripcion Visual
C-3 Napa 1.20 m.	1	0,00-0,45	0.45	Limo color café claro, humedad media a alta, plasticidad media, estructura homogenea, consistencia media. Se observan abundantes raices y raicillas.
	2	0,45-1,80	1.35	Arcilla limosa color café claro, humedad alta a saturada, plasticidad baja, estructura homogene, consistencia media a baja.

Laboratorista Responsable:	N. Urrutia	Fecha Observacion	04/01/2012

OBSERVACIONES

A peticion del cliente se solicitó cambio de formato segun carta con fecha 10 de enero de 2012

Labsai

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafía

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripción Visual
C-1 Hasta 1.50m.	1	0.00-0.25	0.25	Relleno artificial compuesto de arcilla color negruzco, humedad baja, plasticidad media a alta, estructura de migajon, consistencia media. Se observan restos de vidrios y escoria.
	2	0.25-1.10	0.85	Arcilla color negruzco, humedad alta, plasticidad media a alta, estructura de homogenea, consistencia baja. Se observan abundantes raices y raicillas
	3	1.10-1.50	0.80	Arcilla color café claro, humedad alta, plasticidad media, estructura de homogenea, consistencia baja.

Laboratorista Responsable:	N. Urrutia	Fecha Observacion	04/01/2012

OBSERVACIONES
A peticion del cliente se solicito cambio de formato segun carta con fecha 10 de enero de 2012

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafía

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripcion Visual
C-5 Napa 1,15 m	1	0,00-0,60	0,60	Limo color café oscuro, humedad media a alta, plasticidad media, estructura homogenea, consistencia baja. Se observan abundantes raices y raicillas.
	2	0,60-1,80	1,20	Limo algo arcilloso color café, humeda alta, plasticidad media, estructura homogenea, consistencia baja. Se observan abundantes raices y raicillas.

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion	03/01/2012

OBSERVACIONES
A peticion del cliente se solicito cambio de formato segun carta con fecha 10 de enero de 2012

Labsai

Correlativo General N°	AS-0038/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafía

Calicata	Muestra N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripcion Visual
C-6 Hasta 1,40 m.	1	0,00-0,30	0,30	Limo color café claro, humedad baja, plasticidad baja, estructura homogenea, consistencia alta. Se observan raices y raicillas aisladas.
	2	0,30-0,90	0,60	Limo arcilloso color café oscuro, humedad alta, plasticidad baja, estructura homogenea, consistencia baja. Se observan abundantes raices y raicillas.
	3	0,90-2,50	1,60	Limo arcilloso color café claro, humedad alta, plasticidad baja, estructura homogenea, consistencia baja.

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion:	03/01/2012

OBSERVACIONES
A peticion del cliente se solicita cambio de formato segun carta con fecha 10 de enero de 2012

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista	NICOLAS URRUTIA C.
Mandante	ING. SR. LUIS ARRAU
Obra	PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región	CATEMU V REGION
Area de Ensayo	SUELOS

Estratigrafia

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripción Visual
C-7	1	0.00-0.85	0.85	Relleno artificial compuesto de limo color café claro, humedad baja, plasticidad baja, estructura homogenea, consistencia media a alta. Se observan restos de plasticos y ladrillos.
	2	0.85-1.40	0.55	Limo color café oscuro, humedad media, plasticidad media a baja, estructura homogenea, consistencia media.
	3	1.40-2.20	0.80	Limo arenoso color café claro, humedad media, plasticidad baja, estructura homogenea, consistencia media.
	4	2.20-3.50	1.30	Arena limosa color gris, humedad media, plasticidad baja a nula, estructura homogenea, compacidad media a alta.

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion	04/01/2012

OBSERVACIONES

A petición del cliente se solicito cambio de formato segun carta con fecha 10 de enero de 2012

Labsai

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafia

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripcion Visual
C-8	1	0.00-1.10	1.10	Relleno artificial compuesto de limo arenoso.(Limpieza).
	2	1.10-2.50		Limo color café claro, humedad media, plasticidad baja a nula, estructura de migajon, consistencia alta.
	3	2.50-3.50	0.40	Limo color café oscuro, humedad media, plasticidad baja a nula, estructura de homogenea, consistencia alta. Se observan bolones aislados.

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion	07/01/2012

OBSERVACIONES
A petición del cliente se solicita cambio de formato segun carta con fecha 10 de enero de 2012

Labsai

SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACION
INN - CHILE
Acreditación LE 707 a LE 711

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafia

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripción Visual
C-9	1	0.00-1.400	1.00	Maucilo color blanquizco, que al romper se comporta como arena limosa.

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion	07/01/2012

OBSERVACIONES
A petición del cliente se solicito cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafia

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripcion Visual
C-10	1	0.00-0.30	0.30	Capa vegetal
	2	0.30-2.30	2.00	Limo arcilloso color café oscuro, humedad baja, plasticidad baja, estructura de migajon, consistencia alta
	3	2.30-3.50	1.20	Arcilla color cafe claro, humedad baja, plasticidad media, estructura de migajon, consistencia alta.

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion	03/01/2012

OBSERVACIONES

A petición del cliente se solicito cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista	NICOLAS URRUTIA C.
Mandante	ING. SR. LUIS ARRAU
Obra	PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región	CATEMU V REGION
Area de Ensayo	SUELOS

Estratigrafia

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripción Visual
C-11 Napa 2,00 m	1	0,00-1,80	1,80	Arcilla color café, humedad media, plasticidad media, consistencia media, estructura de migajón. Se observan raicillas.
	2	1,80-2,00	0,20	Arcilla color negro, humedad alta, plasticidad alta, consistencia baja, estructura de homogenea. Se observan raicillas.
	3	2,00-4,00	2,00	Arcilla color plomizo, humedad alta, plasticidad alta, consistencia baja, estructura de homogenea.

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion:	31/12/2011

OBSERVACIONES

A petición del cliente se solicitó cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafia

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripción Visual
C-12 Napa 2,50 m.	1	0,00-1,80	1,80	Limo color café claro, humedad baja, plasticidad baja, estructura homogenea, consistencia media.
	2	1,80-2,10	0,30	Limo color negro, humedad alta, plasticidad alta, consistencia baja, estructura de homogenea. Se observan raicillas.
	3	2,10-3,50	1,40	Arcilla color plomiza, humedad alta, plasticidad alta, consistencia baja, estructura de homogenea.

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion:	31/12/2011

OBSERVACIONES
A peticion del cliente se solicitó cambio de formato segun carta con fecha 10 de enero de 2012

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafía

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripción Visual
C-13 Napa 1,60 m.	1	0,00-0,80	0,80	Relleno artificial compuesto de arcilla color negruzco, humedad media, plasticidad media a alta, consistencia media a baja, estructura de migajon. Se observan raices y raicillas dispersas.
	2	0,80-2,00	1,20	Grava arena limosa color café anaranjado, humedad media, plasticidad baja, estructura homogenea, compacidad media a alta con la profundidad, trabazon alta, gravas de cantos redondeados y subredondeados tamaño maximo 3", y bolones de hasta 6".

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion	03/01/2012

OBSERVACIONES

A peticion del cliente se solicitó cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Labsai

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafia

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripcion Visual
C-14 Napa 3,10 m.	1	0,00-0,35	0,35	Limo arcilloso color cafe claro, humedad baja, plasticidad media, estructura homogenea, consistencia alta. Se observan abundantes nuces y micelias.
	2	0,35-0,55	0,20	Arena gruesa arcillosa color cafe, humedad media a alta, estructura homogenea, compacidad media plasticidad media a alta, gravas de cantos subredondeados tamaño maximo 2".
	3	0,55-1,70	0,85	Grava arenosa algo limosa color gris cafe, humedad alta a saturada con la profundidad, estructura homogenea, compacidad media a alta, plasticidad baja a nula, gravas de cantos redondeados tamaño maximo 3", y bolones de hasta 7".

Laboratorista Responsable.	R Urrutia	Fecha Observacion	03/01/2012

OBSERVACIONES
A petición del cliente se solicita cambio de horizonte según carta con fecha 10 de enero de 2012

Labsai

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafia

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripción Visual
C-15 Hasta 1,00 m.	1	0,00-0,10	0,10	Capa vegetal
	2	0,10-0,35	0,25	Limo, color café claro, humedad baja, plasticidad baja, estructura homogenea, consistencia alta. Se observan abundantes raices y raicillas.
	3	0,35-2,00	1,65	Grava arenosa color gris, humedad baja y compacidad baja hasta 1,00 m. luego comienza humedad media a alta con la profundidad y compacidad alta (trabazon media)., estructura homogenea, gravas de cantos redondeados y subredondeados tamaño maximo 3", y bolones de hasta 8".

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion	03/01/2012

OBSERVACIONES
A petición del cliente se solicitó cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Labsai

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafia

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripción Visual
C-16	1	0.00-1.00	1.00	Mamposteria
	2	1.00-4.00	3.00	Arcilla color cafe, humedad media, plasticidad media, consistencia firme, estructura homogenea.

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion	31/12/2011

OBSERVACIONES
A petición del cliente se solicitó cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Correlativo General N°	AS-0038/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACIÓN CANALES CATEMÚ
Ubicación / Región: CATEMÚ V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafia

Calicata	Horizonte N°	Rango Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripción Visual
C-17	1	0.00-0.10	0.10	Capa vegetal
	2	0.10-1.50	1.40	Limo arenoso color gris café, humedad media, consistencia media, plasticidad baja, estructura de migajon. Se observan algunas raicillas.
	3	1.50-4.00	2.50	Arcilla color café, humedad media, plasticidad media, consistencia media, estructura homogenea.

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion:	31/12/2011

OBSERVACIONES
A peticion del cliente se solicito cambio de formato segun carta con fecha 10 de enero de 2012

Labsai

SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACION
INN - CHILE
Acreditación LE 707 a LE 711

Correlativo General Nº	AS-0039/12	Correlativo de Obra Nº	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

ESTRATIGRAFIA

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Estratigrafía

Calicata	Horizonte Nº	Rango Profundidad [m]	Espesor [m]	Descripción Visual
C-18	1	0.00-0.20	0.20	Capa vegetal
	2	0.20-3.20	3.00	Grava arenosa algo limosa color gris, humedad baja, plasticidad nula, compacidad media, estructura homogenea, gravas de cantos redondeados tamaño maximo 10".

Laboratorista Responsable:	R Urrutia	Fecha Observacion	31/12/2011

OBSERVACIONES

A peticion del cliente se adjunto cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Calle Tacna # 291 - Fono: (35)570332 - Fono/Fax: (35) 588128 - Barrancas - San Antonio
E-mail: ventas@labsai.cl - www.labsai.cl

Labsai

SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACION
INN - CHILE
Acreditación LE 707 a LE 711

Correlativ General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

Certificado de Análisis de Suelo

Contratista	NICOLAS URRUTIA C.
Mandante	ING. SR. LUIS ARRAU
Obra	PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región	CATEMU V REGION
Area de Ensayo	SUELOS

Granulometría (% que pasa en peso) LNV 105-86		1	2	3	4	5	6
		Ubicación de la Muestra					
Tamices ASTM	Nch (mm)	C-1	C-2	C-2	C-3	C-3	C-4
Horizonte			1	2	1	2	2
Cota		0,80-5,00	0,00-1,80	1,80-2,00	0,00-0,15	0,15-1,80	0,25-1,10
Criba 3"	80 mm.						
Criba 2 1/2"	63 mm.						
Criba 2"	50 mm.			100			
Criba 1 1/2"	40 mm.			98			
Criba 1"	25 mm.			87			
Criba 3/4"	20 mm.			76			
Criba 3/8"	10 mm.	100		60			
Malla N 4	5 mm.	90	100	53	100		
Malla N 10	2 mm.	74	97	49	98	100	100
Malla N 40	0.42 mm.	25	72	36	94	98	98
Malla N 200	0.08 mm.	9	51	24	77	76	81
Bolones sobre 3" (%)							
Clasificación según USCS		SW-SM	CL	GM-GC	ML	CL-ML	CL

Caracteristicas Fisicas

Norma	Determinación						
Nch 1517/1-79	Límite Líquido		33.4	28.4	40.1	27.7	38.0
Nch 1517/2-79	Límite Plástico		15.5	22.3	29.4	21.1	23.3
Nch 1517/2-79	Indice plasticidad	NP	17.9	6.1	10.7	6.6	14.7
Nch 1534-79	DMCH						
Nch 1534-79	Humedad Optima						
Nch 1534-79	DMCS						
Nch 1726-80	Densidad Máxima						
Nch 1726-80	Densidad Mínima						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.1"						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.2"						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.3"						
Nch 1852-81	Hinchamiento						
Nch 1515-79	Humedad Natural	1.0	6.3	3.9	32.3	32.3	26.3
Nch 1532-80	Densidad de Part. Solidas	2.72	2.70	2.72	2.68	2.71	2.72

Observaciones
A petición del cliente se solicitó cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Laboratorista Responsable:	R. Urrutia	Fecha Informe: 12-01-12

Labsal

Correlativo General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

Certificado de Análisis de Suelo

Contratista	NICOLAS URRUTIA C.
Mandante	ING. SR. LUIS ARRAU
Obra	PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región	CATEMU V REGION
Area de Ensayo	SUELOS

Granulometría (% que pasa en peso) LNV 105-86		7	8	9	10	11	12
		Ubicación de la Muestra					
Tamices ASTM	Nch (mm)	C-4	C-5	C-5	C-6	C-6	C-7
Horizonte		3	1	2	2	3	3
Cota		1,10-1,90	0,00-0,90	0,60-1,80	0,30-0,90	0,90-2,50	1,40-2,20
Criba 3"	80 mm.						
Criba 2 1/2"	63 mm.						
Criba 2"	50 mm.						
Criba 1 1/2"	40 mm.						
Criba 1"	25 mm.						
Criba 3/4"	20 mm.						
Criba 3/8"	10 mm.						100
Malla N 4	5 mm.				100	100	99
Malla N 10	2 mm.	100	100	100	99	99	98
Malla N 40	0,42 mm.	98	96	91	89	90	91
Malla N 200	0,08 mm.	73	83	64	59	59	51
Bolones sobre 3".(%)							
Clasificacion según USCS		CL	ML	ML	CL-ML	CL-ML	ML

Caracteristicas Fisicas

Norma	Determinación						
Nch 1517/1-79	Límite Líquido	30.1	44.6	32.3	26.2	24.5	29.1
Nch 1517/2-79	Límite Plástico	21.5	30.3	23.6	21.1	18.5	19.7
Nch 1517/2-79	Indice plasticidad	8.6	14.3	8.7	5.1	6.0	9.4
Nch 1534-79	DMCH						
Nch 1534-79	Humedad Optima						
Nch 1534-79	DMCS						
Nch 1726-80	Densidad Máxima						
Nch 1726-80	Densidad Mínima						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.1"						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.2"						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.3"						
Nch 1852-81	Hinchamiento						
Nch 1515-79	Humedad Natural	28.8	30.2	31.1	23.8	22.4	14.2
Nch 1532-80	Densidad de Part. Sólidas	2.72	2.68	2.71	2.71	2.72	2.70

Observaciones
A petición del cliente se solicitó cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Laboratorista Responsable:	R. Urrutia	Fecha Informe: 12-01-12

Labsal

SISTEMA NACIONAL DE ACREDITACION
INN - CHILE
Acreditación LE 707 a LE 711

Correlativ General N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

Certificado de Análisis de Suelo

Contratista: NICOLAS URRUTIA C.
Mandante: ING. SR. LUIS ARRAU
Obra: PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región: CATEMU V REGION
Area de Ensayo: SUELOS

Granulometría (% que pasa en peso) LNV 105-86		13	14	15	16	17	18
		Ubicación de la Muestra					
Tamices ASTM	Nch (mm)	C-7	C-8	C-8	C-9	C-10	C-10
Horizonte		4	2	3	1	2	3
Cota		2,20-3,50	1,10-2,90	2,90-3,80	0,00-4,00	0,30-2,30	2,30-3,50
Criba 3"	80 mm.						
Criba 2 1/2"	60 mm.						
Criba 2"	50 mm.						
Criba 1 1/2"	40 mm.						
Criba 1"	25 mm.						
Criba 3/4"	20 mm.						
Criba 3/8"	10 mm.		100		100		
Malla N 4	5 mm.	100	99	100	99		
Malla N 10	2 mm.	99	98	99	91	100	100
Malla N 40	0,42 mm.	92	91	93	37	95	84
Malla N 200	0,08 mm.	20	80	81	13	88	69
Bolones sobre 3" (%)							
Clasificación según USCS		SM	ML	ML	SM	CL-ML	CL

Caracteristicas Físicas

Norma	Determinación						
Nch 1517/1-79	Límite Líquido		30,3			23,2	26,7
Nch 1517/2-79	Límite Plástico		28,3			18,8	17,4
Nch 1517/2-79	Indice plasticidad	NP	2,0	NP	NP	4,4	9,3
Nch 1534-79	DMCH						
Nch 1534-79	Humedad Optima						
Nch 1534-79	DMCS						
Nch 1726-80	Densidad Máxima						
Nch 1726-80	Densidad Mínima						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.1"						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.2"						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.3"						
Nch 1852-81	Hinchamiento						
Nch 1515-79	Humedad Natural	12,1	16,7	12,9	1,0	6,2	6,3
Nch 1532-80	Densidad de Part. Sólidas	2,74	2,68	2,68	2,72	2,7	2,71

Observaciones
A petición del cliente se solicitó cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Laboratorista Responsable: R. Urrutia | Fecha Informe: 12-01-1

Labsal

Correlativ Central N°	AS-0039/12	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

Certificado de Análisis de Suelo

Contratista	NICOLAS URRUTIA C.
Mandante	ING. SR. LUIS ARRAU
Obra	PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región	CATEMU V REGION
Area de Ensayo	SUELOS

Granulometria (% que pasa en peso) LNV 105-86		19	20	21	22	23	24
		Ubicación de la Muestra					
Tamices ASTM	Nch (mm)	C-11	C-11	C-12	C 12	C-13	C-14
Horizonte		1	3	1	2	2	2
Cota		0,00-1,80	2,00-4,00	0,00-1,80	1,80-2,10	0,80-2,00	0,85-0,85
Criba 3"	80 mm.					100	
Criba 2 1/2"	63 mm.					94	
Criba 2"	50 mm.					86	100
Criba 1 1/2"	40 mm.					68	97
Criba 1"	25 mm.					55	97
Criba 3/4"	20 mm.					48	93
Criba 3/8"	10 mm.					41	89
Malla N 4	5 mm.					37	87
Malla N 10	2 mm.		100	100	100	35	69
Malla N 40	0,42 mm.	100	99	99	99	25	62
Malla N 200	0,08 mm.	57	96	77	96	11	43
Bolones sobre 3" (%)						6.4	
Clasificacion según USCS		CL	CH	ML	MH	GP-GM	SC

Caracteristicas Físicas

Norma	Determinación						
Nch 1517/1-79	Limite Líquido	35.2	53.7	33.4	74 6	28.8	39.0
Nch 1517/2-79	Limite Plástico	22.7	27 5	30.8	43.9	28.2	24.8
Nch 1517/2-79	Indice plasticidad	12.5	26.2	2.6	30.7	0 6	14 2
Nch 1534-79	DMCH						
Nch 1534-79	Humedad Optima						
Nch 1534-79	DMCS						
Nch 1726-80	Densidad Máxima						
Nch 1726-80	Densidad Mínima						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.1"						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.2"						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.3"						
Nch 1852-81	Hinchamiento						
Nch 1515-79	Humedad Natural	24.7	45 0	14.0	64.3	15.2	22.3
Nch 1532-80	Densidad de Part. Sólidas	2 70	2 54	2.64	2.58	2 74	2.72

Observaciones
A petición del cliente se solicitó cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Laboratorista Responsable:	R. Urrutia	Fecha Informe: 12-01-1

Correlativo General N°	AS-0039/11	Correlativo de Obra N°	AS-01	Orden de Trabajo (OT)	9028

Certificado de Análisis de Suelo

Contratista	NICOLAS URRUTIA C.
Mandante	ING. SR. LUIS ARRAU
Obra	PROYECTO UNIFICACION CANALES CATEMU
Ubicación / Región	CATEMU V REGION
Area de Ensayo	SUELOS

Granulometría (% que pasa en peso) LNV 105-86		25	26	27	28	29	33
		Ubicación de la Muestra					
Tamices ASTM	Nch (mm)	C-14	C-15	C-16	C-17	C-17	C-18
Horizonte		3	3	2	2	3	2
Cota		0,85-1,70	0,35-2,00	1,00-4,00	0,00-1,50	1,50-4,00	0,20-3,20
Criba 3"	80 mm.	100	100				100
Criba 2 1/2"	63 mm.	90	89				94
Criba 2"	50 mm.	71	78				82
Criba 1 1/2"	40 mm.	56	68				69
Criba 1"	25 mm.	43	48				58
Criba 3/4"	20 mm.	37	38				33
Criba 3/8"	10 mm.	30	29		100	100	42
Malla N 4	5 mm.	26	24	100	95	98	34
Malla N 10	2 mm.	23	21	99	89	94	27
Malla N 40	0,42 mm.	15	9	93	79	86	12
Malla N 200	0,08 mm.	7	2	78	66	76	5
Bolones sobre 3" (%)							
Clasificación según USCS		GP-GM	GP	CL	ML	CL	GW-GM

Caracteristicas Físicas

Norma	Determinación						
Nch 1517/1-79	Límite Líquido			38.2	21.1	25.7	
Nch 1517/2-79	Límite Plástico			18.0	18.7	16.4	
Nch 1517/3-79	Indice plasticidad	NP	NP	10.2	2.4	9.3	NP
Nch 1534-79	DMCH						
Nch 1534-79	Humedad Optima						
Nch 1534-79	DMCS						
Nch 1726-80	Densidad Máxima						
Nch 1726-80	Densidad Mínima						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.1"						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.2"						
Nch 1852-81	CBR al 95% y a 0.3"						
Nch 1852-81	Hinchamiento						
Nch 1515-79	Humedad Natural	8.4	5.1	13.9	8.6	12.6	1.2
Nch 1532-80	Densidad de Part. Sólidas	2.75	2.75	2.72	2.68	2.72	2.75

Observaciones
A petición del cliente se solicitó cambio de formato según carta con fecha 10 de enero de 2012

Laboratorista Responsable:	R. Urrutia	Fecha Informe: 12-01-1

ANEXO 3-2

ENSAYOS DE LABORATORIO DE POZOS PARA EMPRÉSTITO

INFORME DE ENSAYO OFICIAL

Resolución Exenta N° 6249 del 01 Octubre de 2010, Minvu.

Informe de Ensayo N°	: 91.495	Orden de Trabajo N° :	23061/2011
Proyecto u Obra	: Emprestitos Calemu		
Correlativo de Obra N°	: 1		
Dirección de la Obra	: Calemu		
Mandante	: LUIS ARRAU DEL CANTO		
Dirección Mandante	: María Luisa Santander N° 0231, Providencia.		
Solicitado por	: Sr. Luis Arrau		
Personal a cargo del muestreo	: Sr. Luis Sepúlveda		
Lugar de realización de los ensayos	: Laboratorio Tecnolab		
Fecha de muestreo	: 21/10/2011	Fecha de recepción de muestras	: 24/10/2011
Fecha de inicio de trabajos	: 08/11/2011	Fecha de termino de trabajos	: 11/11/2011
Fecha de emisión	: 11/11/2011		

1.- Documentación Utilizada

Documentos utilizados para la toma de muestras	-P-79, ED.00
Ensayos ejecutados	Perfil estratigráfico (MC Vol 2 Secc. 2 503.2) Granulometría (M.C.Vol.8.Secc 8.102.1 2010 (LNV 105)) Límites de consistencia (NCh 1517/1 y /2.Of79) Clasificación de suelos (ASTM D2487-06 (PE-2487)) Densidad de partículas sólidas (NCh 1532.Of80) Humedad Natural (NCh 1515.Of79)

2.- Identificación de las Muestras Ensayadas

N° de Muestra	Identificación	Tipo de Muestra	Estado de la Muestra	
			Recibida	Ensayada
17338-1	P-1 cota: 1.50 - 2,00 m.	P	x	x
17338-2	P-2 cota: 1.50 -2,00 m.	P	x	x
--	--	--	--	--
--	--	--	--	--

Nota:
La descripción del tipo de muestra corresponde a:

P: Muestra perturbada
NP: Muestra no perturbada
SH: Muestra obtenida por medio de tubo Shelby
CN: Muestra obtenida por medio de cuchara normal
CD: Muestra obtenida por medio de corona diamantada

3.- Observaciones o Comentarios

Rubén Ezdigian K.
Ingeniero Civil
Gerente General
Responsable Area Mecánica de Suelos

1.- Las muestras serán almacenadas en TECNOLAB LTDA., hasta un período de 1 mes a contar de la fecha de emisión de este informe. Cumplido este período las muestras serán eliminadas, al menos que exista una solicitud del cliente para ensayos posteriores o su retiro
2.- Los resultados informados se refieren únicamente a los ítems ensayados
3.- El contenido del presente Informe de Ensayo no puede ser reproducido total ni parcialmente sin la expresa autorización escrita del laboratorio

Ramón Subercaseaux 3041, Santiago. Fono - fax: (56) (02) 6830129 - 6832179 - 6831753 - 6832258
www.tecnolab.cl - tecnolab@tecnolab.cl

ENSAYOS DE LABORATORIO

Perfil Estratigráfico según MC Vol 2 Secc. 2.503.2 (*)

Informa de Ensayo N° : 91.495
Proyecto u Obra : Emprestitos Catemu

Pozo N° : 1
Ubicación : --
Napa de agua (m) : 0.70
Laboratorista : Sr. Luis Sepúlveda
Fecha de inspección : 21-oct

Profundidad (m)	Perfil gráfico	Clasificación USCS estimada	DESCRIPCIÓN DEL SUELO
0,00 0,40	--	--	Grava origen fluvial, color gris, humedad alta, tamaño máximo grava 2 1/2", bolones de 4" y 6", presenta raices y raicillas.
0,40 2,00	--	--	Grava orien fluvial, color gris, humedad alta saturada, compacidad alta, estructura homogénea. Gravas y bolones de cantos subredondeados de tamaño máximo gravas 2 1/2", bolones de 6" y 12" en un 15% en volumen aproximadamente.
	--	--	--
	--	--	--
	--	--	--

(*) Ensayo no incluido dentro del alcance de la acreditación INN.

Ramón Subercaseaux 3041, Santiago. Fono - fax: (56) (02) 6830129 - 6832179 - 6831753 - 6832258
www.tecnolab.cl - tecnolab@tecnolab.cl

ENSAYOS DE LABORATORIO

Perfil Estratigráfico según MC Vol 2 Secc. 2.503.2 (*)

Informe de Ensayo N° : 91.495
Proyecto u Obra : Empresitos Caterru

Pozo N° : 2
Ubicación : --
Napa de agua (m) : No se observó
Laboratorista : Sr. Luis Sepúlveda
Fecha de inspección : 21-oct

Profundidad (m)	Perfil gráfico	Clasificación USCS estimada	DESCRIPCIÓN DEL SUELO
0,00 2,00	--	--	Grava origen fluvial, color gris, humedad alta saturada, compacidad alta, estructura homogénea. Gravas y bolones de cantos subredondeados, tamaño máximo 2 1/2", bolones entre 4" y 10" en un volumen aproximadamente 10%.
	--	--	--
	--	--	--
	--	--	--
	--	--	--

(*) Ensayo no incluido dentro del alcance de la acreditación INN.

Ramón Subercaseaux 3041, Santiago. Fono - fax: (56) (02) 6830129 - 6832179 - 6831753 - 6832258
www.tecnolab.cl - tecnolab@tecnolab.cl

ENSAYOS DE LABORATORIO

Informe de Ensayo Nº : 91.495
Proyecto u Obra : Empresitos Calemu

A .- IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

Pozo Nº	1	2	--	--	--	--
Horizonte	--	--	--	--	--	--
Muestra Nº	17336-1	17336-2	--	--	--	--
Cota (m)	1,50	1,50	--	--	--	--
	2,00	2,00	--	--	--	--

B .- GRANULOMETRIA (MC Vol. 8 Secc. 8.102.1 2010 (LNV 105))

Fecha de ensayo		09-nov	09-nov	--	--	--	--
Tamaños nominales de abertura (mm)		(porcentaje acumulado que pasa)					
80		100	100	--	--	--	--
63		95	94	--	--	--	--
50		83	74	--	--	--	--
40		69	58	--	--	--	--
25		56	42	--	--	--	--
20		47	36	--	--	--	--
10		30	27	--	--	--	--
5		20	23	--	--	--	--
2		12	19	--	--	--	--
0,5		4	5	--	--	--	--
0,08		2	1	--	--	--	--
Sobretamaño mayor a 80 mm	(%)	25	24	--	--	--	--

C .- LIMITES DE CONSISTENCIA (NCh 1517/1 y /2.Of79)

Fecha de ensayo		10-nov	10-nov	--	--	--	--
Tipo de acanalador empleado		ASTM	ASTM	--	--	--	--
Método de ensayo empleado		Mecánico	Mecánico	--	--	--	--
Límite Líquido	(%)	17	18	--	--	--	--
Límite Plástico	(%)	--	--	--	--	--	--
Indice de Plasticidad		N.P.	N.P	--	--	--	--

D .- CLASIFICACION DE SUELOS (ASTM D2487-06 (PE-2487))

Símbolo del Grupo USCS (*)		GW	GP	--	--	--	--

E .- DENSIDAD DE PARTICULAS SOLIDAS (NCh 1532.Of80)

Fecha de ensayo		09-nov	09-nov	--	--	--	--
Densidad de partículas sólidas	(g/cm^3)	2,679	2,683	--	--	--	--

F .- DETERMINACION DE LA HUMEDAD (NCh 1515.Of79)

Fecha de ensayo		08-nov	08-nov	--	--	--	--
Humedad	(%)	3,4	0,8	--	--	--	--

G .- DESGASTE DE LAS GRAVAS, método de la máquina de los ángeles (NCh 1369.Of78)

Fecha de ensayo		--	--	--	--	--	--
Grado de ensayo		--	--	--	--	--	--
Desgaste de la grava	(%)	--	--	--	--	--	--

H .- CUBICIDAD DE PARTICULAS (MC Vol. 8 Secc. 8.202.6 2010 (LNV 3))

Fecha de ensayo		--	--	--	--	--	--
Chancado total	(%)	--	--	--	--	--	--
Rodadora total	(%)	--	--	--	--	--	--
Laja total	(%)	--	--	--	--	--	--

(*) Ensayo no incluido dentro del alcance de la acreditación INN

Román Subercaseaux 3041, Santiago. Fono - fax: (56) (02) 6830129 - 6832179 - 6831753 - 6832258
www.tecnolab.cl - tecnolab@tecnolab.cl

ANEXO 3-3

INFORME EXPLORACIONES GEOFÍSICAS

SERVICIOS GEOFISICOS EN MINERIA E INGENIERIA LTDA.
SEGMI

ESTUDIO GEOSÍSMICO EN PROYECTO CANALES DE RIEGO, CATEMU

LUIS ARRAU DEL CANTO

SEPTIEMBRE 2011

INDICE DE MATERIAS

1.- INTRODUCCIÓN

2.- DESCRIPCIÓN BREVE DE METODOLOGÍA UTILIZADA

3.- TRABAJO DE TERRENO

4.- INTERPRETACIÓN

5.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES

6.- CONSIDERACIONES

1.- INTRODUCCIÓN

El presente informe da a conocer resultados del estudio geosísmico de refracción realizado en diversos sectores del canal Catemu ubicado en la falda de los cerros que circundan el pueblo Catemu. Dicho estudio fue solicitado por la Oficina de Ingeniería Luis Arrau del Canto. La Figura 1 muestra en forma aproximada la ubicación de la zona de estudio.

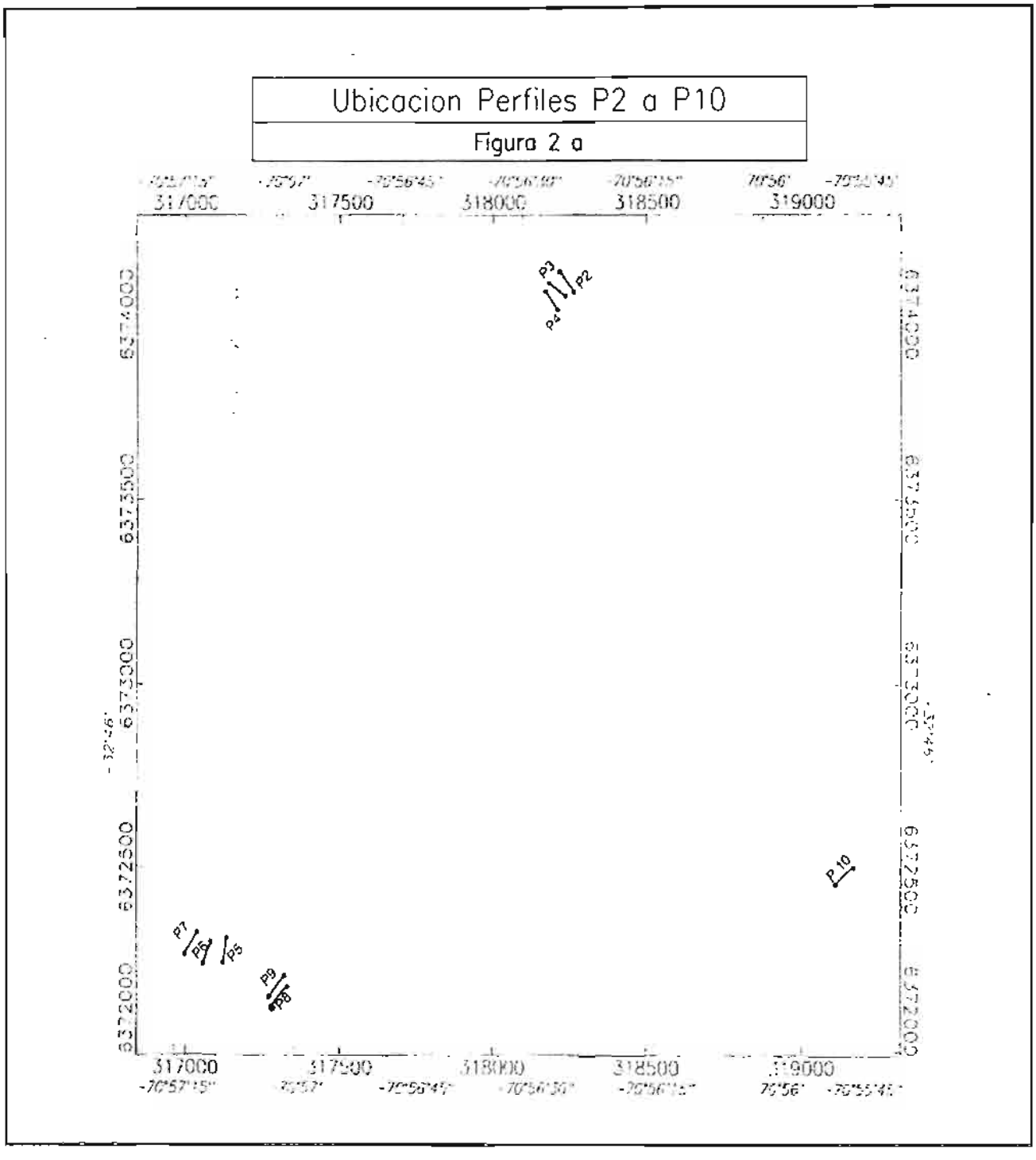
Figura 1

Las exploraciones tuvieron como objetivo conocer las características geotécnicas de los materiales del emplazamiento del canal y túneles actuales. Para ello se usó el método sísmico de refracción, con una disposición de 10 perfiles sísmicos de 75 metros cada uno. La distribución de los perfiles fue sugerida por el señor Luis Arrau del Canto, tal distribución fue ligeramente modificada en terreno considerando los alcances de la metodología y los riesgos para realizarlos (pendientes muy fuertes). Tal distribución final estuvo de acuerdo con los objetivos del proyecto.

Las coordenadas de los extremos de cada perfil fueron obtenidas por ingenieros de la Oficina de Luis Arrau del Canto, mediante el sistema GPS Navegador, en este sentido hay que considerar la precisión que proporciona esta metodología por tanto las coordenadas son solamente referenciales, Tabla 1. La Figura 2a y 2b muestra una aproximación de la ubicación de los perfiles ejecutados en las alternativas del proyecto.

2.- BREVE DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA USADA

En la investigación del subsuelo de sitios en que se proyecta la construcción de obras civiles, tales como túneles, caminos, recursos hídricos, represas u otros, se hace cada vez más frecuente el uso de los métodos geofísicos para complementar y programar estudios



Ubicacion Perfil 1

Figura 2 b

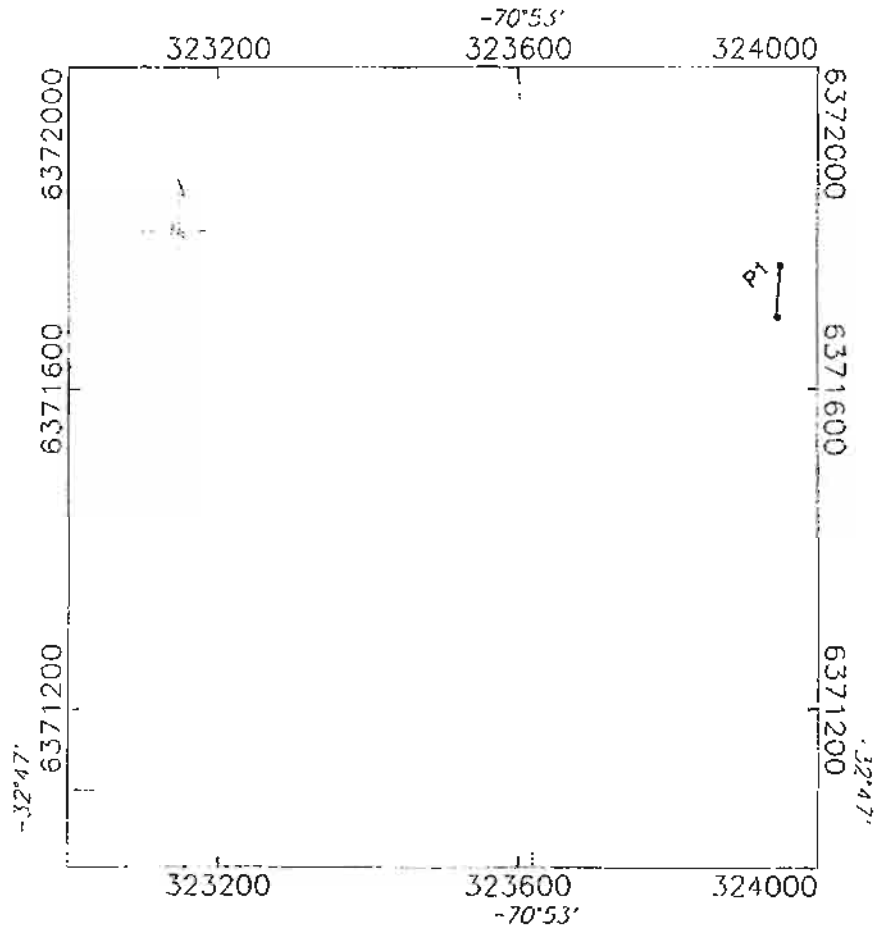


Tabla 1

P1	Salida del túnel 1	
N	323949	6371752
S	323945	6371689
P2	Salida del túnel proyectado Salesianos	
NO	318216	6374116
SE	318262	6374060
P3	Salida del túnel proyectado Salesianos	
NO	318181	6374086
SE	318235	6374051
P4	Salida del túnel proyectado Salesianos	
NO	318209	6374014
SE	318170	6374063
P5	A la salida del túnel 2	
S	317121	6372242
N	317133	6372309
P6	A la salida del túnel 2	
S	317056	6372240
N	317081	6372298
P7	A la sa ida del túnel 2	
S	316997	6372265
N	317037	6372324
P8	A la entrada del túnel 2	
O	317272	6372151
E	317332	6372176
P9	Arriba de la entrada al túnel 2	
SO	317270	6372149
NE	317321	6372208
P10	Entrada proyectada túnel Salesianos	
O	319109	6372458
E	319167	6372502

adicionales (por ejemplo sondajes). El método aplicado con mayor frecuencia es el de refracción sísmica, el cual proporciona antecedentes del subsuelo aprovechando para ello la

información que entregan las ondas elásticas longitudinales que viajan a través de él, las que pueden ser generadas mediante explosivo ó golpes de martillo u otra fuente generadora de pulsos, generalmente dispuestas cercanas a la superficie. En la generalidad de las prospecciones por éste método, se ubican una serie de detectores (geófonos) sobre la superficie del terreno según una línea recta. En los extremos, alejados de ellos o en puntos intermedios de la recta se efectúan explosiones o golpes controlados como fuentes generadoras de pulsos sísmicos. Para cada explosión o golpe se obtiene un registro o sismograma en el que aparecen, los tiempos de llegada de las ondas sísmicas a los diferentes geófonos. Registrándose ondas directas que son aquellas que se propagan por la superficie desde el punto perturbado y ondas refractadas que son las que viajan hasta un contacto subterráneo, luego por éste contacto, y desde allí hasta el geófono. Físicamente las ondas refractadas corresponden a ondas que han experimentado una refracción total en uno o más contactos entre las capas.

La teoría del método requiere el cumplimiento de las siguientes hipótesis para permitir una adecuada solución y precisión:

a) Las velocidades de propagación en cada estrato son constantes.

b) Las velocidades de los estratos sucesivos más profundos son sucesivamente mayores.

c) Los contactos entre capas son planos de cualquier inclinación.

d) Los estratos son suficientemente potentes para poder apreciar la onda refractada en ellos.

Los resultados de un estudio de refracción sísmica son tanto más confiable, cuanto mejor se cumplen las hipótesis señaladas. En general la precisión del método varía entre 80% y el 100%.

En general la interpretación parte del análisis de las curvas "camino-tiempo". A éstas se ajustan rectas que individualizan los diferentes estratos refractores y se procede a calcular velocidades reales y espesores de las capas. Este cálculo está programado para ser efectuado digitalmente permitiendo analizar un gran número de casos posibles.

Finalmente, se elige el modelo que mejor se ajuste al conjunto de datos de terreno, afinándose la interpretación, considerando las condiciones topográficas y geológicas de superficie. Se

obtiene así una interpretación en forma de corte o perfil a lo largo de la línea investigada, en la que se muestran las capas del subsuelo y sus espesores. Además, se sugiere una correlación probable con estratos geológicos.

Sin embargo, es importante señalar que el método de refracción sísmica en sí mismo sólo diferencia capas de acuerdo a las velocidades de propagación de ondas elásticas en ellas.

La información de profundidad que da el método debe entenderse como distancias a las interfases determinadas y no son por lo tanto, necesariamente verticales.

3.- TRABAJO DE TERRENO

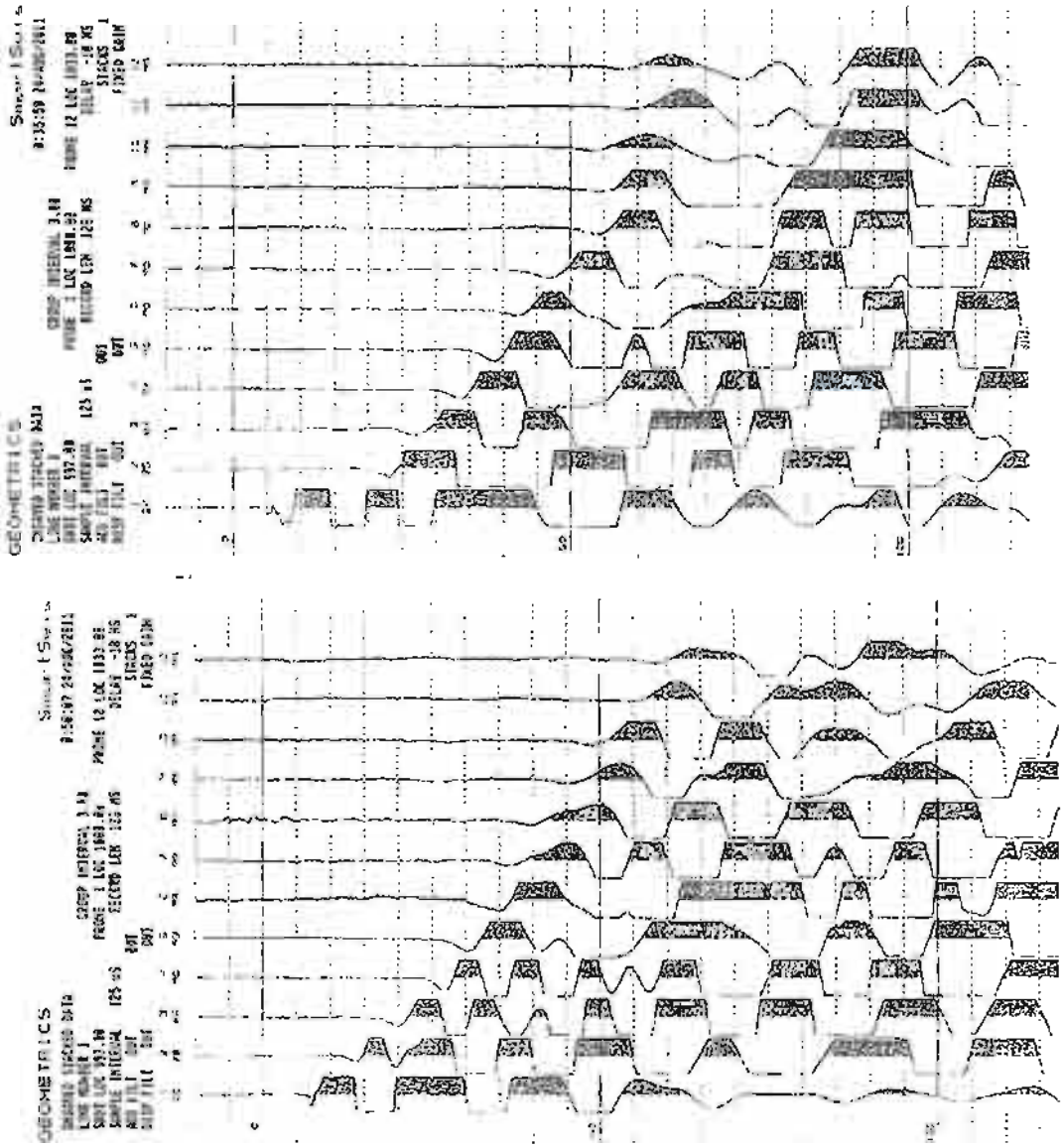
El trabajo de terreno se efectuó durante los días 26 y 30 de Agosto del 2011. Los perfiles fueron planificados en la oficina los cuales en terreno fueron modificados de acuerdo a la accesibilidad para efectuarlos manteniendo presente los objetivos del estudio.

Los perfiles tuvieron una distribución de 12 geófonos, equidistantes cada 6 metros con generación de pulsos sísmicos a una distancia de 5 metros de los extremos, mediante golpes de un mazo sobre una placa metálica.

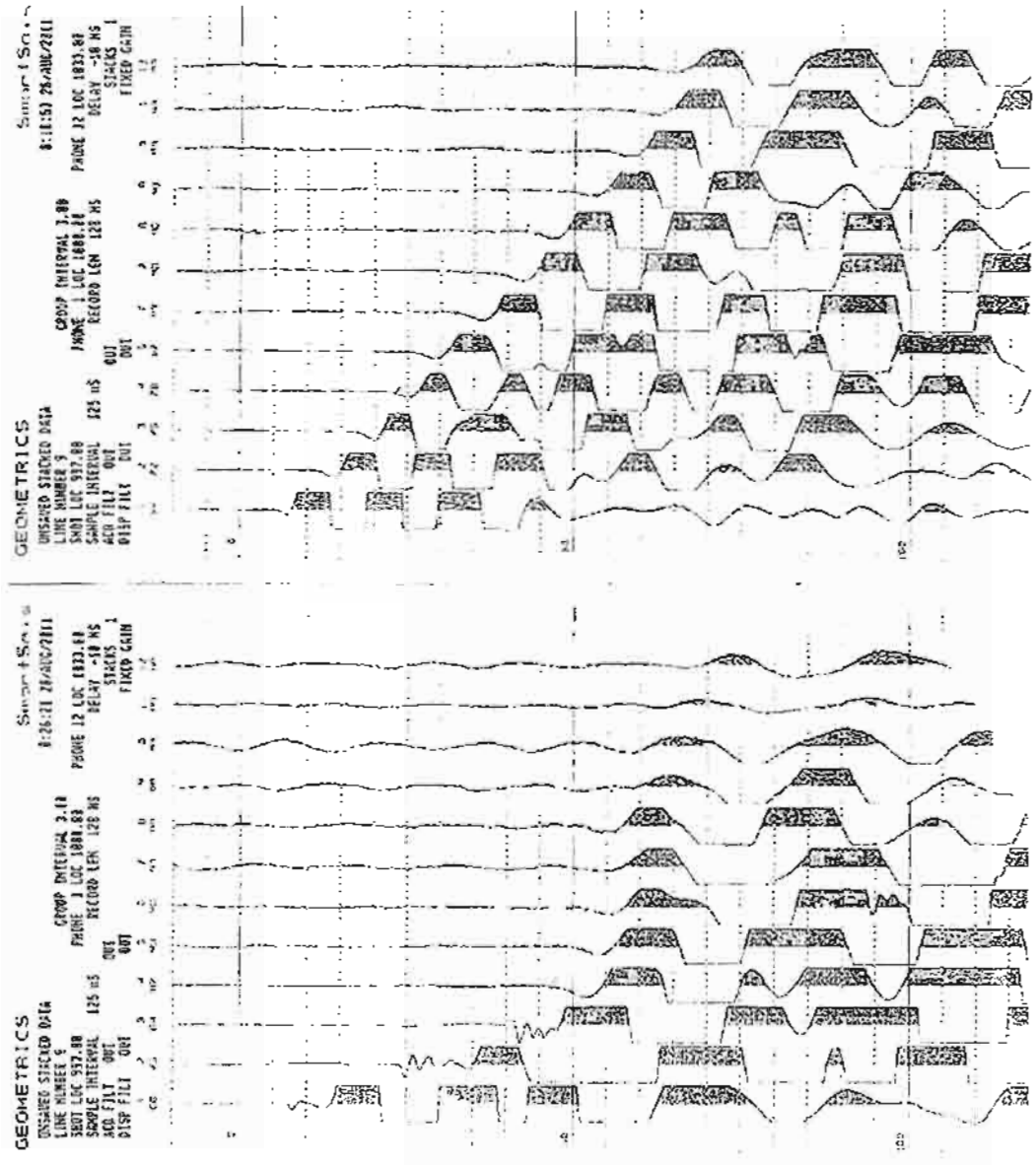
En el estudio de refracción sísmica se utilizó un equipo portátil de 12 canales de la industria Geometric, modelo SmartSeis con registro en papel y posibilidad de archivar la información mediante un registro magnético. La lectura del sismograma fue de un milisegundo. Un ejemplo de estos registros se muestra para los perfiles 1 y 9.

4.- INTERPRETACIÓN

En la interpretación de los perfiles sísmicos se utilizó la metodología de Adachi, la cual es adoptada por la Geometric para su interpretación, la que calcula estratos o capas con cualquier inclinación. El fundamento de la interpretación de los perfiles sísmicos son los gráficos tiempo-distancia, que son obtenidos a través del instrumental utilizado y distancias medidas en terreno de los perfiles sísmicos con sus respectivos geófonos.



Registro Perfil 1



Registro Perfil 9

5.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados de los perfiles sísmicos de refracción se pueden observar en las Figuras 3 a 12. En estas figuras se muestran los gráficos tiempo-distancia que son el reflejo de las configuraciones utilizadas en terreno y la sección interpretada. Estas secciones muestran capas o estratos calculados. En ellos se observan las velocidades reales de las ondas longitudinales calculadas con sus respectivos espesores. La Tabla 2 muestra un resumen de estos resultados.

Tabla 2

Perfil	E~1^{er}est. m	Veloc. m/seg	E~2^{do}esL m	Veloc. m/seg	Prof~3^{do}est. m	Veloc. m/seg
1, Fig 3	2 - 4	515	11 - 14	1250	> 13 - 18	2540
2, Fig 4	4	430	11 - 12	615	>15 - 16	1900
3, Fig 5	2	440	9 - 16	625	> 11 - 18	1530
4, Fig 6	2 - 3	430	11 - 19	680	>14 - 21	1730
5, Fig 7	2 - 6	450	6 - 15	1400	> 12 - 17	2500
6, Fig 8	3 - 4	515	8 - 9	1340	>11 - 13	1900
7, Fig 9	2	430	15 - 17	1110	> 17 - 19	2200
8, Fig 10	1 - 5	365	12 - 14	710	>13 - 19	3120
9, Fig 11	2 - 10	621	5 - 12	1000	> 15 - 14	2500
10, Fig 12	5 - 7	430	8 – 16	1300	>15 - 21	2350

E= espesor est= estrato Prof=profundidad veloc= velocidad

En general los suelos en la zona de estudio presentan un rango de velocidades que dependen de su origen, meteorización, tiempo geológico, contenido de aguas y otros efectos secundarios. El agrupamiento de los suelos y rocas pueden variar significativamente de acuerdo a los autores o publicaciones existentes. En este caso se utilizó una aproximación a la información obtenida de estudios realizados en el Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, (Araneda, M., inédito), SEGMI y observaciones de terreno, ver Tabla 3.

Tabla 3

V_p m/seg	Tipo de Material
400 – 700	Suelos superficiales de baja consolidación.
1400 - 2000	Rocas de alta meteorización a mediana
2500 - 2900	Rocas fracturadas, alta a baja
> 3000	Rocas sanas de buena calidad geomecánica
— — — —	Límite de penetración de la onda sísmica de acuerdo a la longitud del perfil

La Tabla 3 se muestra una relación entre velocidades de propagación de ondas sísmicas compresionales dependiendo fundamentalmente de su calidad geomecánica.

6.- CONSIDERACIONES

Las velocidades de las rocas pueden variar en un rango amplio, éstas dependen de su grado de meteorización en la que se encuentran. En general las rocas fracturadas pueden presentar velocidades entre 1500 y cercanas a 3000 m/seg. Es posible que las rocas puedan presentar valores de velocidades muy inferiores, dependiendo de su grado de meteorización.

También los materiales sedimentarios naturales como gravas u otros pueden presentar un rango amplio de velocidades, las cuales dependerán fundamentalmente de su grado de consolidación, tamaño del grano, contenido de agua y edad geológica. Estas pueden variar aproximadamente entre 500 a 2700 m/seg.

Los perfiles fueron diseñados para alcanzar profundidades aproximadas de 30 metros.

En general las rocas de buena calidad geotécnica tienen velocidades superiores a 3000 m/seg. Estas velocidades fueron encontradas en el Perfil 8.

Gran parte de las áreas estudiadas presentan velocidades correspondientes a rocas con diversos grados de meteorización.

Las Figuras 13, 14 y 15 muestran una correlación de velocidades con sus respectivos estratos en diferentes sectores donde se ejecutaron los perfiles sísmicos. La correlación es bastante coherente entre las velocidades y los espesores de los estratos.

Manuel Araneda
SEGMI

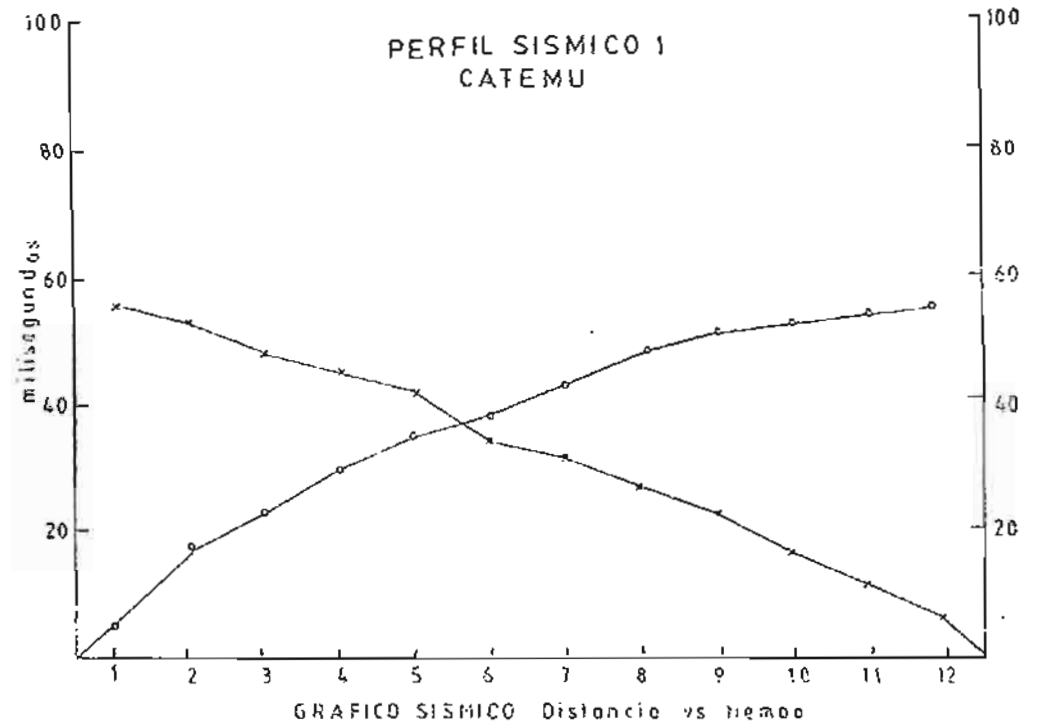


FIGURA 3

Suelos superficiales

Suelos semi consolidados

Suelos consolidados, rocas

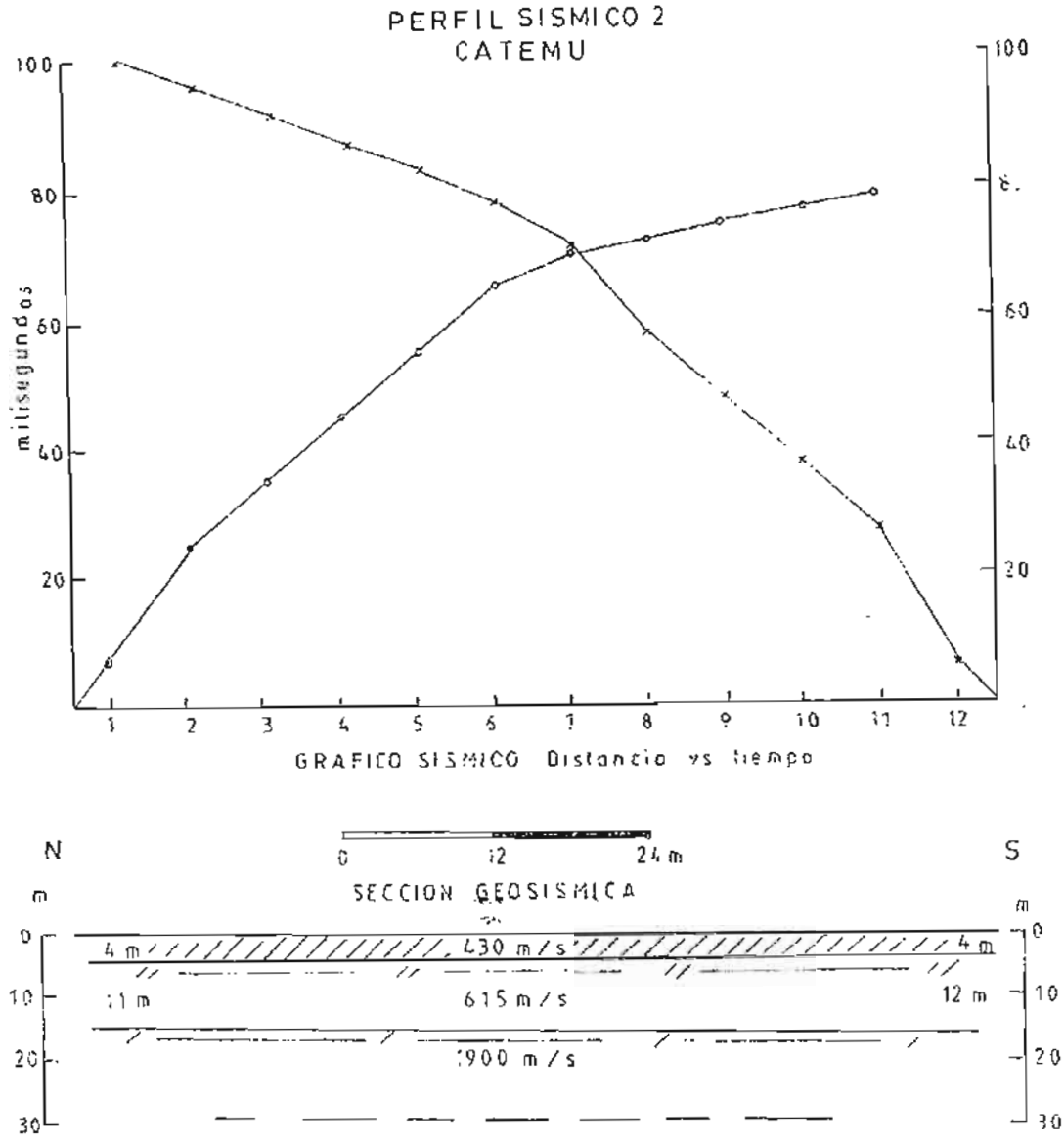
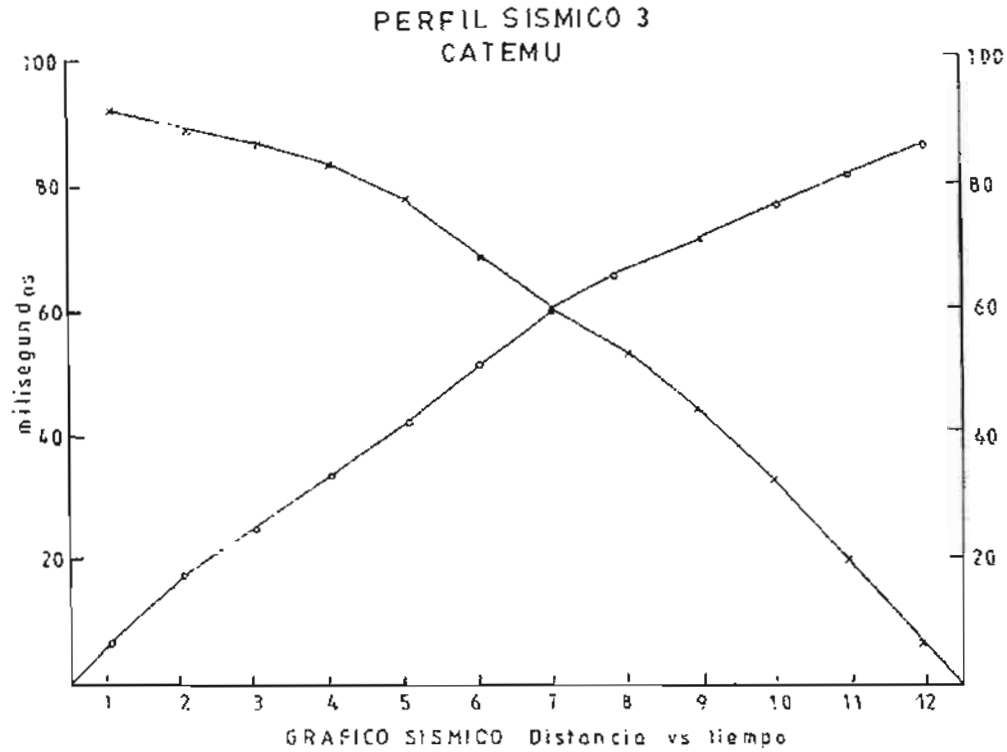
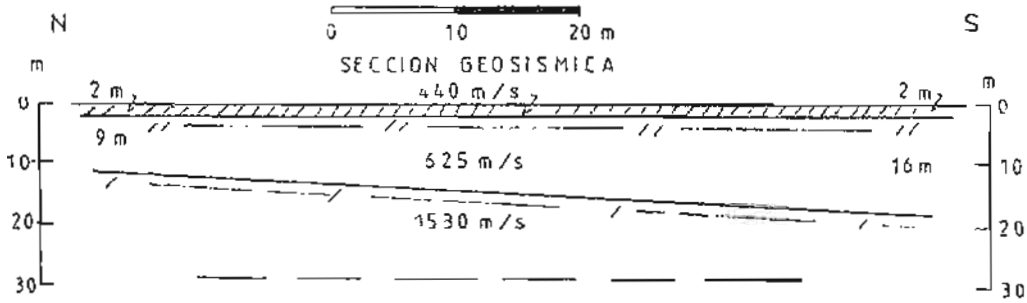

PERFIL SISMICO 2
CATEMU
milisegundos
100
80
60
40
20
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
GRAFICO SISMICO Distancia vs tiempo
N
S
0
12
24 m
SECCION GEOSISMICA
m
4 m
430 m/s
4 m
11 m
615 m/s
12 m
1900 m/s
Suelos superficiales
Suelos baja cosolidacion
Suelos consolidados

FIGURA 4





FIGURAS

Suelos superficiales

Suelos baja consolidacion

Suelos consolidados

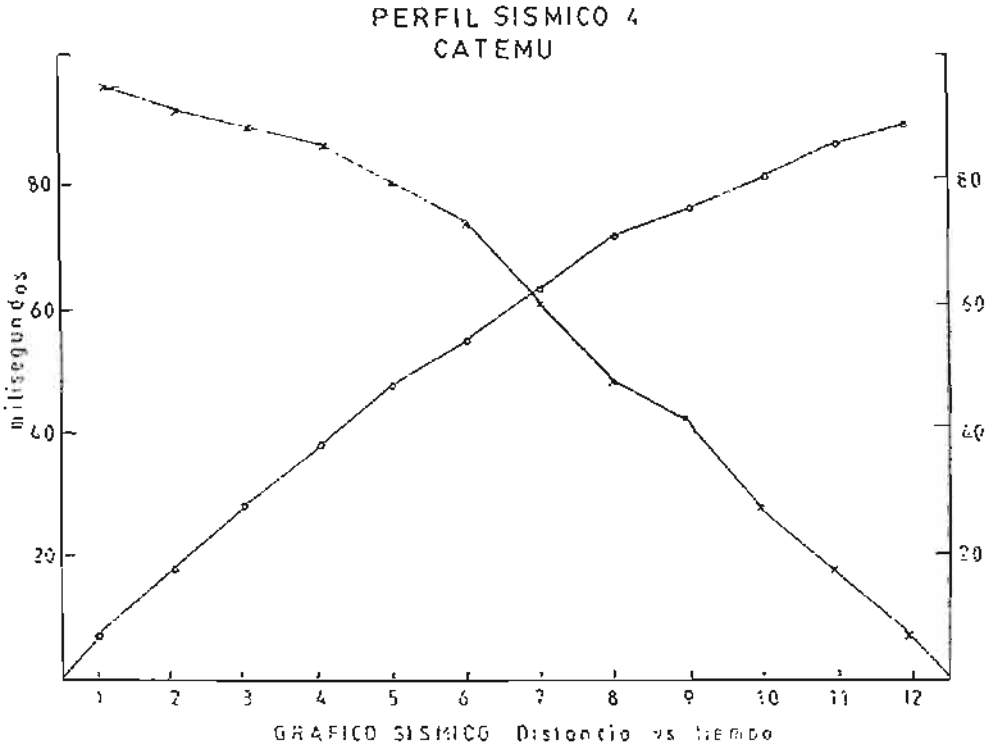


FIGURA 6

Suelos superficiales

Suelos baja consolidacion

Suelos consolidados

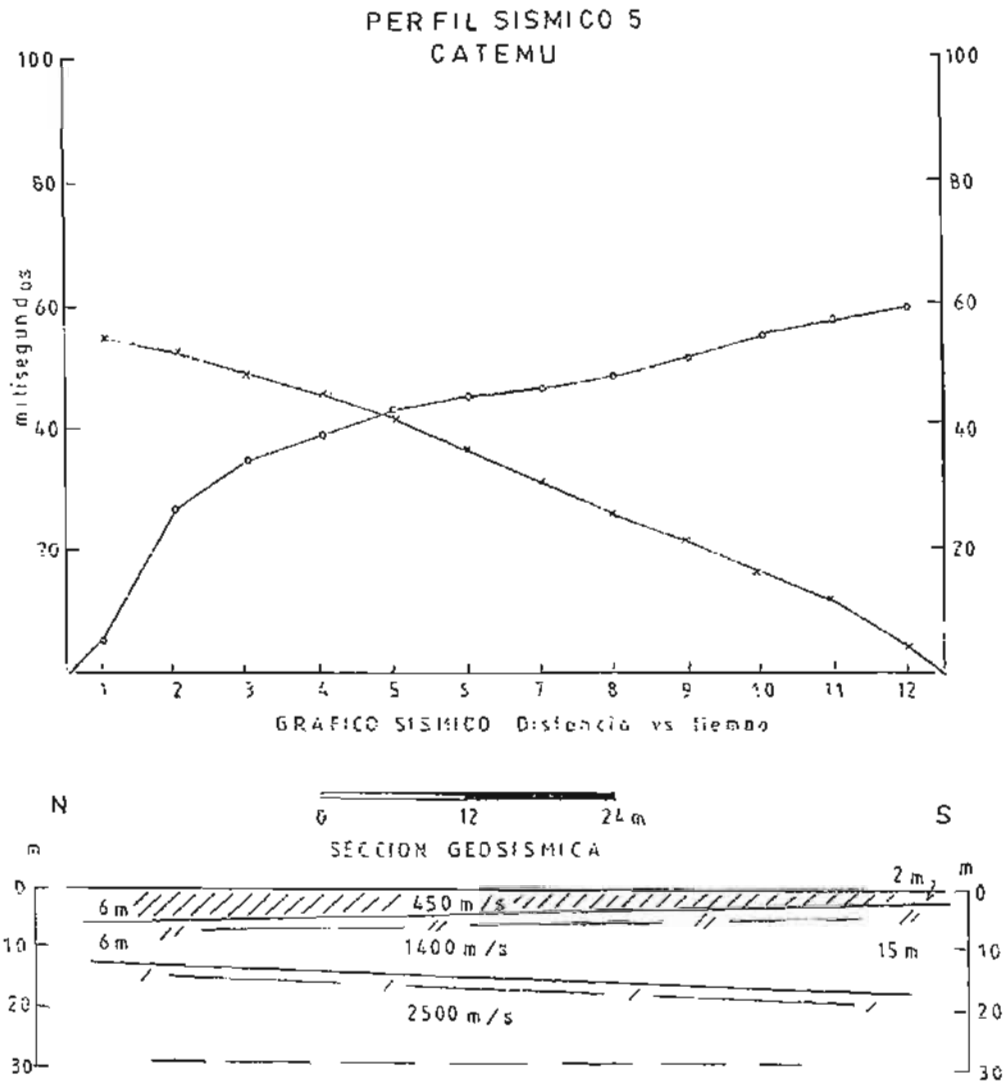

PERFIL SISMICO 5
CATEMU
100
80
60
40
20
milisegundos
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
GRAFICO SISMICO Distancia vs tiempo
N
0 12 24 m
S
SECCION GEOSISMICA
m
0
10
20
30
2 m
6 m
450 m/s
6 m
1400 m/s
15 m
2500 m/s
Suelos superficiales
Suelos semi consolidados
Suelos consolidados, rocas

FIGURA 7

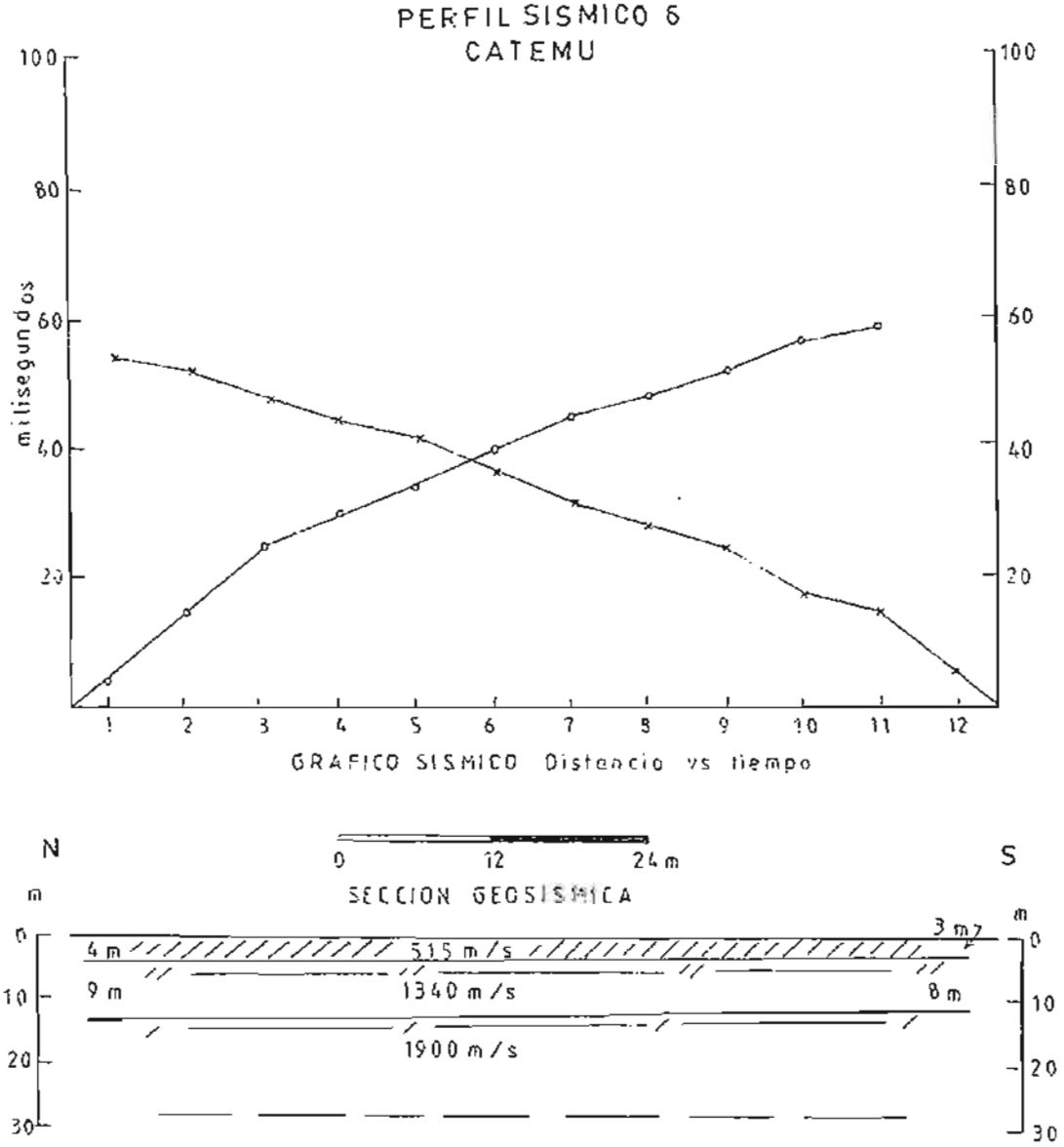


FIGURA 6

Suelos superficiales

Suelos semi consolidados

Suelos consolidados

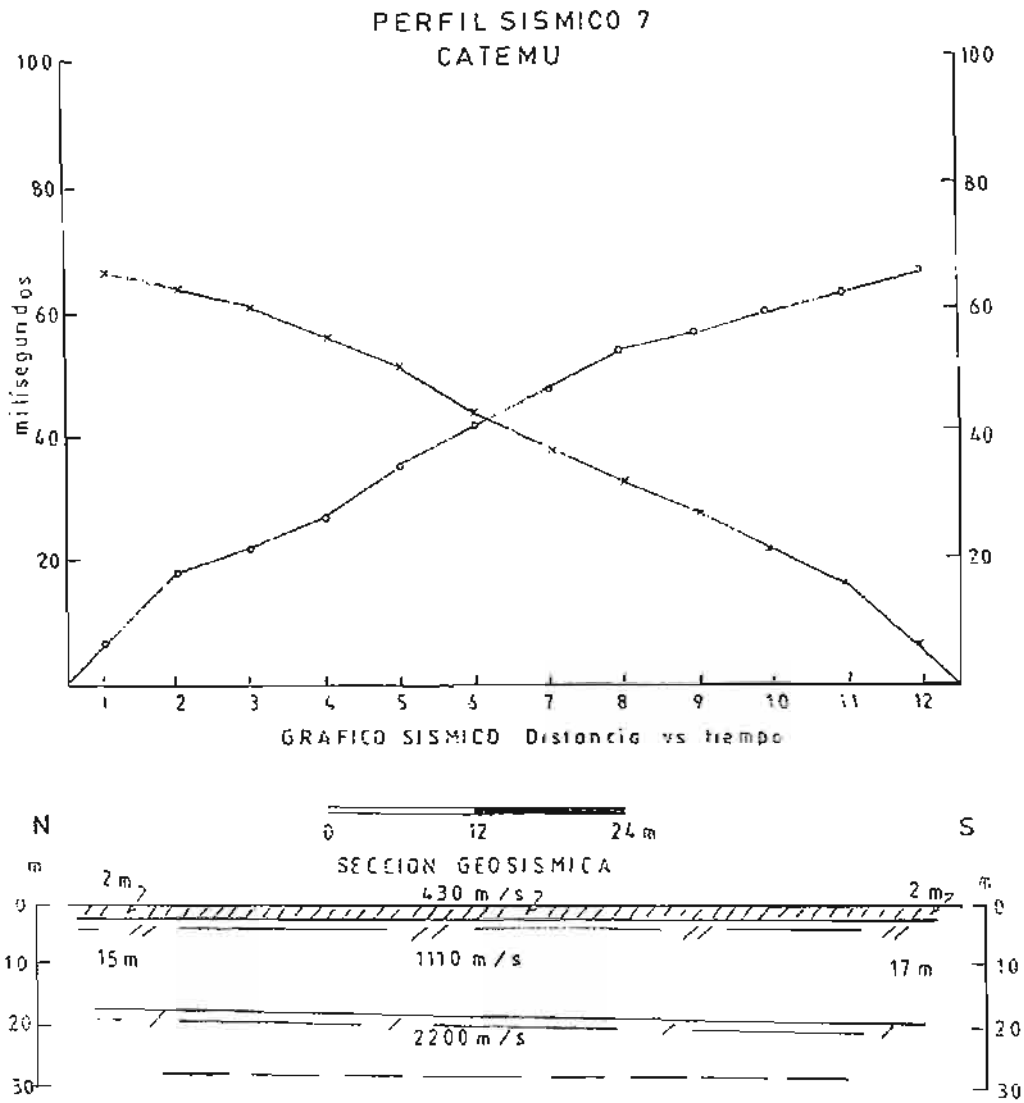


FIGURA 9

Suelos superficiales

Suelos semi consolidados

Suelos consolidados

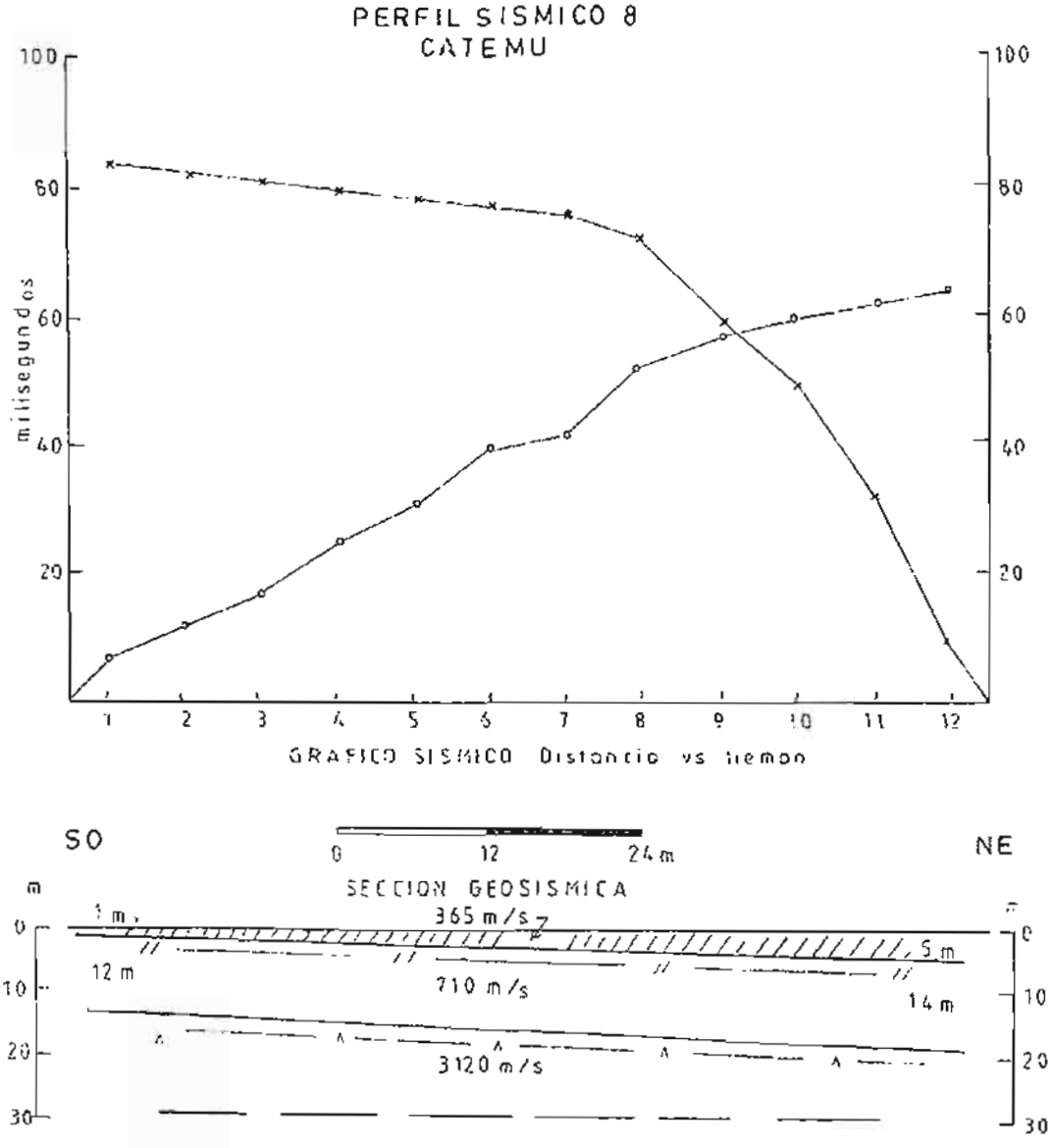


FIGURA 10

Suelos superficiales

Roca muy meteorizada

Roca sana

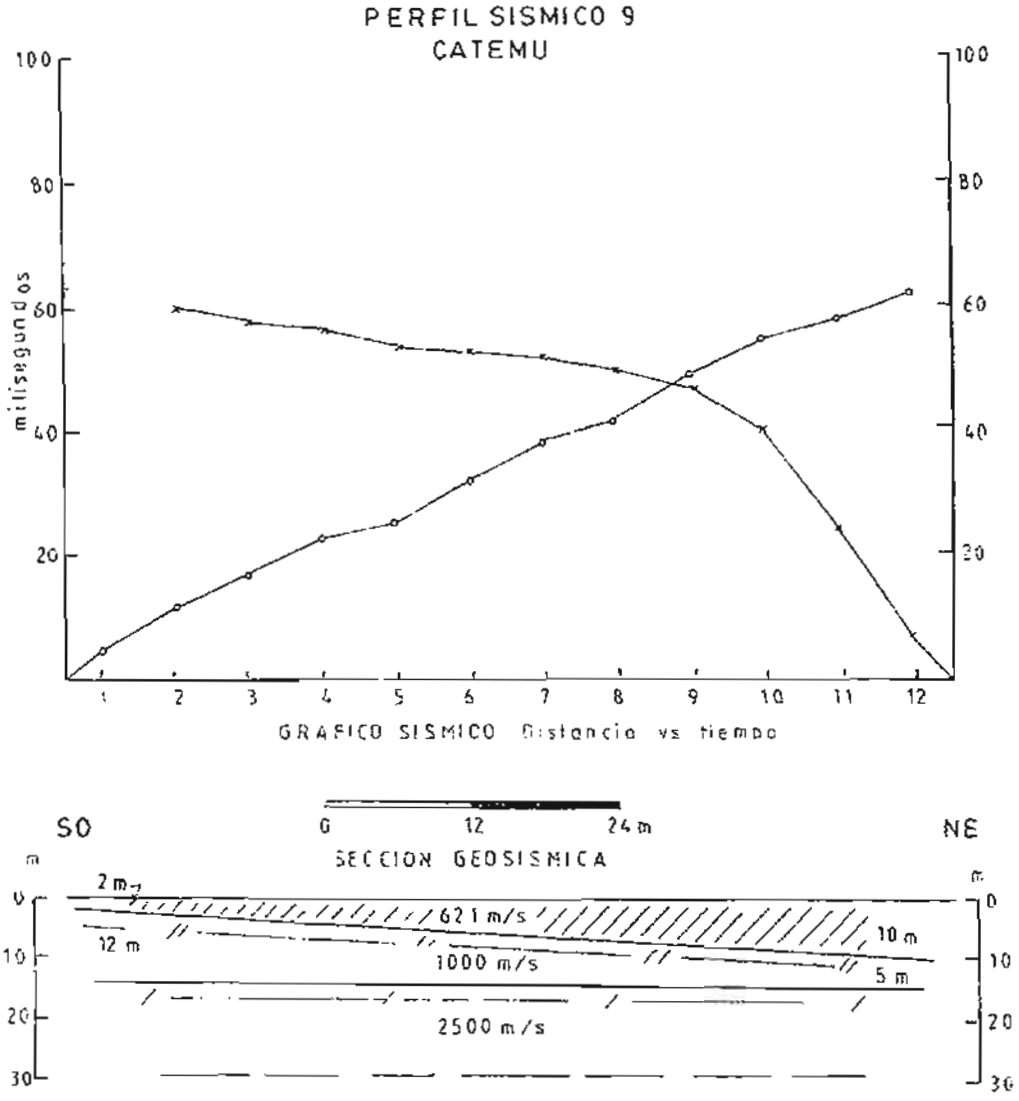


FIGURA 1

Suelos superficiales

Roca muy meteorizada

Roca meteorizada

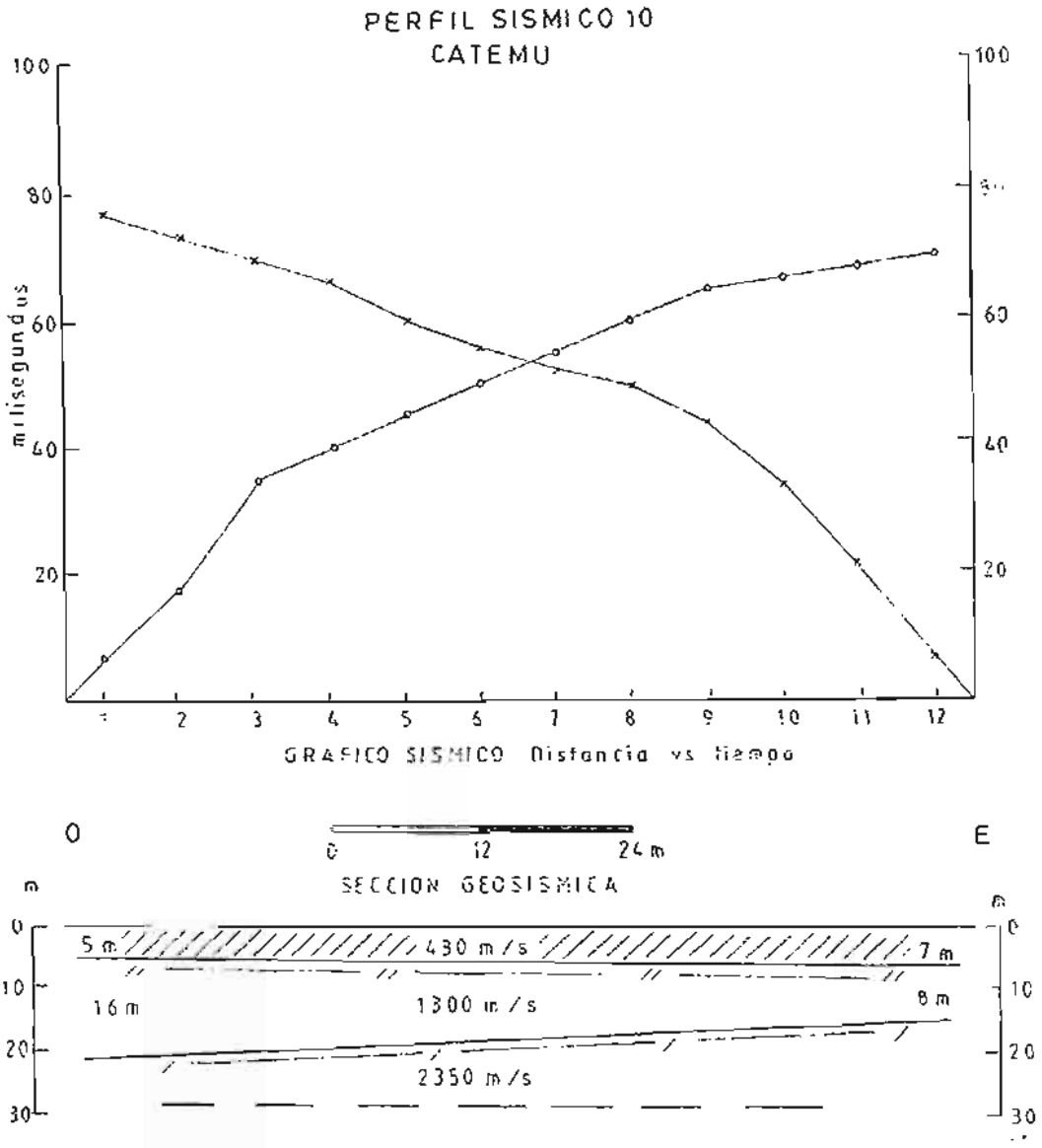


FIGURA 12

Suelos superficiales

Suelos semi consolidados

Suelos consolidados, rocas

CORRELACION DE PERFILES AREA CATEMU

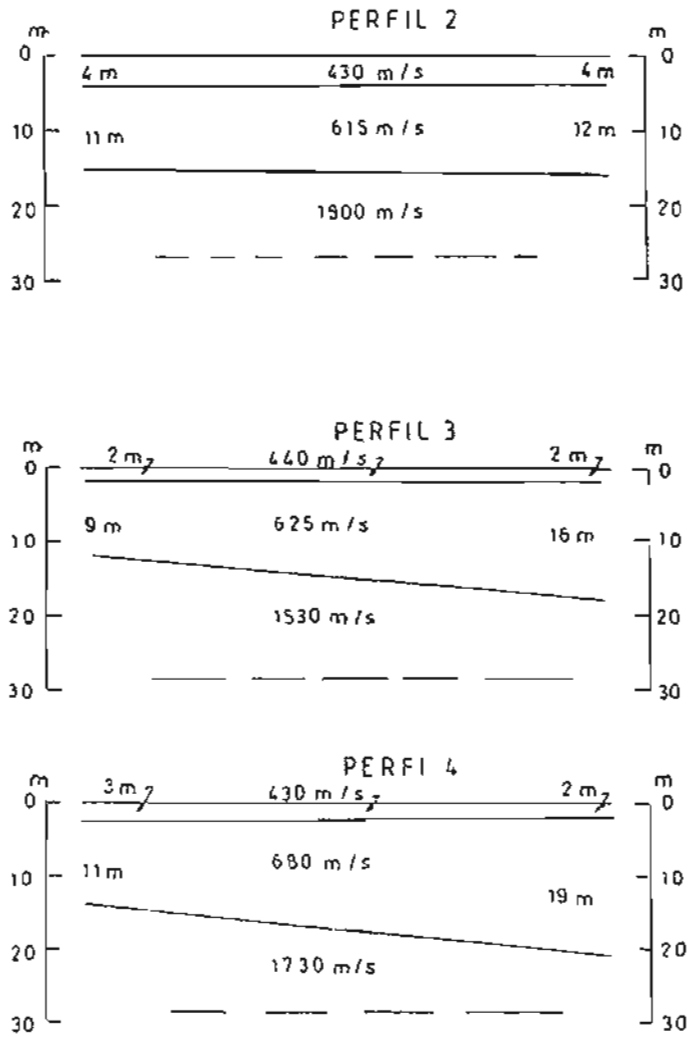
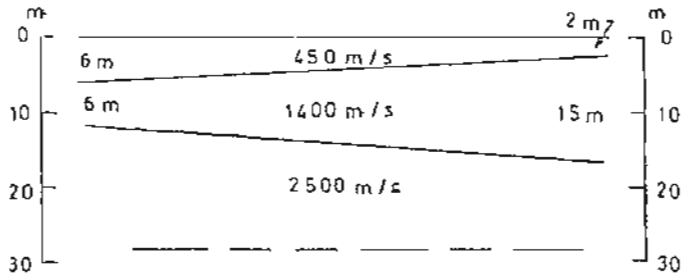


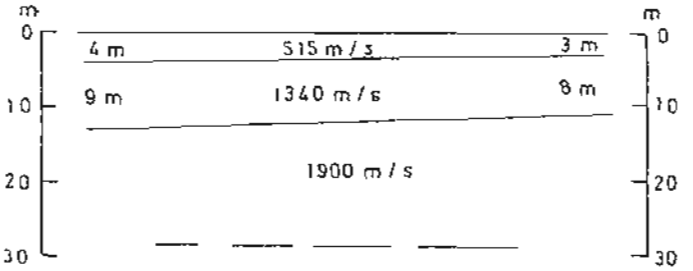
FIGURA 13

CORRELACION DE PERFILES AREA CATEMU

PERFIL 5



PERFIL 6



PERFIL 7

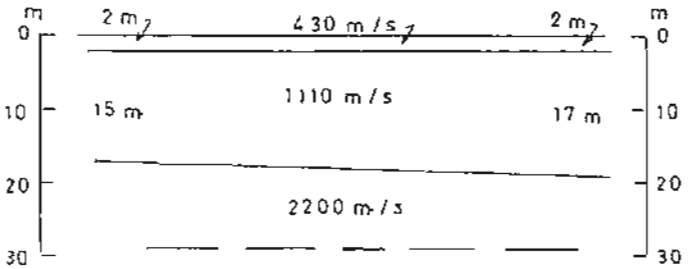


FIGURA 14

CORRELACION DE PERFILES AREA CATEMU

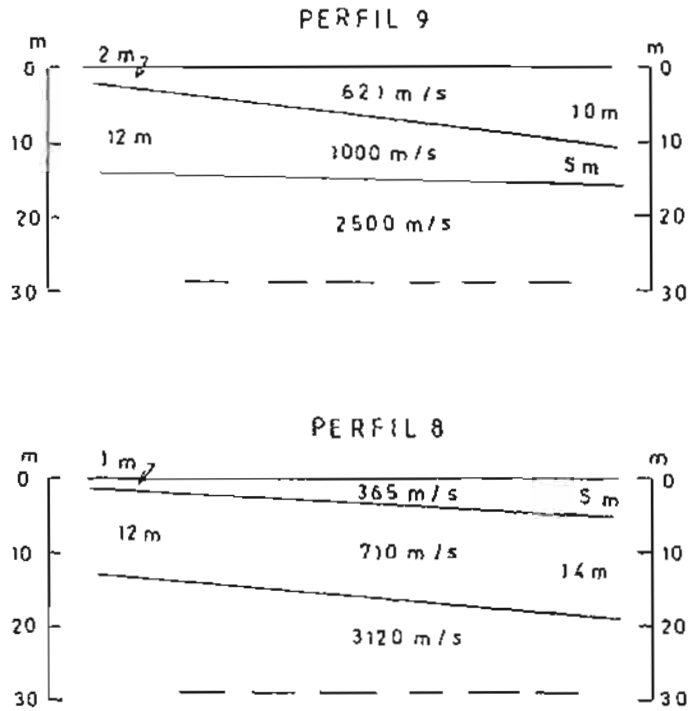


FIGURA 15

ANEXO 3-4

INFORME DE SONDAJES EN BOCATOMA

CERTIFICADO DE SONDAJE Nº 012/2011

Informa resultados de ensayes de estratigrafía y registro de perforación sobre carga:, efectuados en obra: Bocatoma – Catemu.

Los ensayes fueron solicitados a KBA-IC LTDA., por CONSULTORA LUIS ARRAU DEL CANTO E.I.R.L.

Los resultados obtenidos se presentan en tablas anexas.

Camilo Alarcón C.
Ingeniero Civil

SANTIAGO, Octubre 2011

ESTRATIGRAFIA
CERTIFICADO SONDAJE Nº 012/2011
Proyecto: Butaloma - Calama

Sondaje 1
Fecha 14-10-2011
Nivel agua sondaje (m) 0.50

Horizonte	Cotas	Descripción del Suelo
1	0.00 4.50	Gravas gruesas y medias arenosa, color gris, humedad alta, compacidad media a baja, de cantos redondeados, tamaño máximo 3", sanos.
2	4.50 5.75	Clasto tamaño máximo 49", estructura granitica, baja fracturación, textura suave, dureza alta, color gris claro, pigmentaciones de calco pirita.
3	5.75 8.80	Maicillo cementado, color gris amarillenta, humedad alta, cementación media a alta, apreciable porcentaje de mica y en menor porcentaje de calco pirita.
4	8.80 10.30	Maicillo cementado, color gris amarillento, humedad alta, cementación media a alta.
5	10.30 12,50	Maicillo medianamente cementado, color gris amarillento, humedad alta. Se disgrega con baja presión.
6	12.50 13.80	Maicillo medianamente cementado, color gris amarillento, humedad alta. Se disgrega con baja presión.

ESTRATIGRAFIA
CERTIFICADO SONDAJE N° 012/2011
Proyecto: Bocatoma - Catemu

Sondaje 1
Fecha 14-10-2011
Nivel agua sondaje (m) 0.50

Horizonte	Cotas	Descripción del Suelo
7	13.80 15.00	Maicillo cementación baja a alta. color gris amarillento. humedad alta. Se disgrega con baja presión.
8		
9		
10		
11		
12		

REGISTRO DE PERFORACION EN SOBRE CARGA

PROYECTO: Bocatoma **Sondaje:** 1 **Fecha:** 29-09-11

UBICACIÓN: Catemu **Sonda:** KSK **Inclin:** 90°

ANTECEDENTES PERFORACION

METROS PERFORADOS TURNO			PERFORACION		ENTUBACION		RAS Nivel de Agua Interior del Sondaje (m)	PRESION DE TRABAJO Kgr/cm^	
Desde	Hasta	Total	Diametro (Pg.)	Profundidad (m)	Diametro (Pg.)	Profundidad (m)		AGUA	ACEITE
0,00	1,50	1,50							
Hora de Inicio		8:30	NQ	0,00	HW	0,00	0,00	2	2
Hora de Termino		18:00	NQ	1,50	HW	1,14	0,50	2	2

PROFUNDIDAD (m)		*Descripción Suelos Perforados Según Sondeador*	Perdida Agua Retorno %
DESDE	HASTA		
0,00	1,00	Grava arenosa, color gris, compacidad media, de cantos redondeados.	
1,00	1,50	Grava arenosa, color gris, compacidad media, de cantos redondeados.	

PRUEBAS DE PENETRACION (M=63.5Kg. H=0.75m) MUESTREO NO PERTURBADO

Hta. Ocupada	N° de Ensayo	Profundidad		Muestra		NUMERO DE GOLPES			
		Desde	Hasta	N°	Longitud (cm)	N 1	N 2	N 3	Nspt

OBSERVACIONES:

OPERADORES

1° Héctor Urrutia

2° Antonio Maldonado

REGISTRO DE PERFORACION EN SOBRE CARGA

PROYECTO: Bocatoma **Sondaje:** 1 **Fecha:** 30-09-11

UBICACIÓN: Catemu **Sonda:** KSK **Inclin:** 90°

ANTECEDENTES PERFORACION

METROS PERFORADOS TURNO			PERFORACION		ENTUBACION		NAS Nivel de Agua Interior del Sondaje (m)	PRESION DE TRABAJO Kgr/cm^	
Desde	Hasta	Total	Diámetro (Plg.)	Profundidad (m)	Diámetro (Plg.)	Profundidad (m)		AGUA	ACEITE
1,50	4,50	3,00							
Hora de Inicio		8:30	NQ	1,50	HW	1,14	0,40	2	2
Hora de Termino		18:00	NQ	4,50	HW	2,50	0,30	2	2

PROFUNDIDAD (m)		*Descripción Suelos Perforados Según Sondeador*	Perdida Agua Retorno %
DESDE	HASTA		
1,50	4,50	Grava arenosa, color gris, compacidad media de cantos redondeados.	

PRUEBAS DE PENETRACION (M=63.5Kg. H=0.75m) MUESTREO NO PERTURBADO

Hta. Ocupada	N° de Ensayo	Profundidad		Muestra		NUMERO DE GOLPES			
		Desde	Hasta	N°	Longitud (cm)	N 1	N 2	N 3	Nspt

OBSERVACIONES:

OPERADORES

1° Héctor Urrutia

2° Antonio Maldonado

REGISTRO DE PERFORACION EN SOBRE CARGA

PROYECTO: Bocatoma **Sondaje:** 1 **Fecha:** 01-10-11

UBICACIÓN: Catemu **Sonda:** KSK **Inclin:** 90°

ANTECEDENTES PERFORACION

METROS PERFORADOS TURNO			PERFORACION		ENTUBACION		EAS Nivel de Agua Interior del Sondaje (m)	PRESION DE TRABAJO Kgr/cm^	
Desde	Hasta	Total	Diámetro (Pg.)	Profundidad (m)	Diámetro (Pg.)	Profundidad (m)		AGUA	ACEITE
4,50	5,75	1,25							
Hora de Inicio		8:30	NQ	4,50	HW	2,50	0,30	2	2
Hora de Termino		18:00	NQ	5,75	HW	2,50	0,30	2	2

PROFUNDIDAD (m)		*Descripción Suelos Perforados Según Sondeador*	Perdida Agua Retorno %
DESDE	HASTA		
4,50	5,75	Clasto de 49"	

PRUEBAS DE PENETRACION (M=63.5Kg. H=0.75m) MUESTREO NO PERTURBADO

Hbt. Ocupada	N° de Ensayo	Profundidad		Muestra		NUMERO DE GOLPES			
		Desde	Hasta	N°	Longitud (cm)	N 1	N 2	N 3	Nspt

OBSERVACIONES:

OPERADORES

1° Héctor Urrutia

2° Antonio Maldonado

REGISTRO DE PERFORACION EN SOBRE CARGA

PROYECTO: Bocatoma **Sondaje:** 1 **Fecha:** 06-10-11

UBICACIÓN: Catemu **Sonda:** KSK **Inclin:** 90°

ANTECEDENTES PERFORACION

METROS PERFORADOS TURNO			PERFORACION		ENTUBACION		NAS Nivel de Agua Interior del Sondaje (m)	PRESION DE TRABAJO Kgr/cm^	
Desde	Hasta	Total	Diámetro (Plg.)	Profundidad (m)	Diámetro (Plg.)	Profundidad (m)		AGUA	ACEITE
5,75	8,80	3,05							
Hora de Inicio		8:30	NQ	5,75	HW	2,50	0,40	2	2
Hora de Termino		18:00	NQ	8,80	HW	2,50	0,60	2	2

PROFUNDIDAD (m)		*Descripción Suelos Perforados Según Sondeador*	Perdida Agua Retorno %
DESDE	HASTA		
5,75	8,80	Maicillo, color gris amarillento.	

PRUEBAS DE PENETRACION (M=63.5Kg. H=0.75m) MUESTREO NO PERTURBADO

Hta. Ocupada	Nº de Ensayo	Profundidad		Muestra		NUMERO DE GOLPES			
		Desde	Hasta	Nº	Longitud (cm)	N 1	N 2	N 3	Nspt

OBSERVACIONES:

OPERADORES

1° Héctor Urrutia

2° Antonio Maldonado

REGISTRO DE PERFORACION EN SOBRE CARGA

PROYECTO: Bocatoma **Sondaje:** 1 **Fecha:** 07-10-11

UBICACIÓN: Catemu **Sonda:** KSK **Inclin:** 90°

ANTECEDENTES PERFORACION

METROS PERFORADOS TURNO			PERFORACION		ENTUBACION		NAS Nivel de Agua Interior del Sondaje (m)	PRESION DE TRABAJO Kgr/cm^	
Desde	Hasta	Total	Diametro (Plg.)	Profundidad (m)	Diámetro (Plg.)	Profundidad (m)		AGUA	ACEITE
8,80	12,50	3,70							
Hora de Inicio		8:30	NQ	8,80	HW	2,50	0,60	2	2
Hora de Termino		18:00	NQ	12,50	HW	2,50	0,30	2	2

PROFUNDIDAD (m)		*Descripción Suelos Perforados Según Sondeador*	Perdida Agua Retorno %
DESDE	HASTA		
8,80	10,30	Maicillo, color gris amarillento, cementado.	
10,30	12,50	Maicillo, color gris amarillento, cementación baja.	

PRUEBAS DE PENETRACION (M=63.5Kg. H=0.75m) MUESTREO NO PERTURBADO

Hta. Ocupada	N° de Ensayo	Profundidad		Muestra		NUMERO DE GOLPES			
		Desde	Hasta	N°	Longitud (cm)	N 1	N 2	N 3	Nspt

OBSERVACIONES:

OPERADORES

1° Héctor Urrutia

2° Antonio Maldonado

REGISTRO DE PERFORACION EN SOBRE CARGA

PROYECTO: Bocatoma **Sondaje:** 1 **Fecha:** 08-10-11

UBICACIÓN: Catemu **Sonda:** KSK **Inclin:** 90°

ANTECEDENTES PERFORACION

METROS PERFORADOS TURNO			PERFORACION		ENTUBACION		NAS Nivel de Agua Interior del Sondaje (m)	PRESION DE TRABAJO Kgr/cm^	
Desde	Hasta	Total	Diámetro (Plg.)	Profundidad (m)	Diámetro (Plg.)	Profundidad (m)		AGUA	ACEITE
12,50	15,00	2,50							
Hora de Inicio		8:30	NQ	12,50	HW	2,50	0,30	2	2
Hora de Termino		18:00	NQ	15,00	HW	2,50	0,30	2	2

PROFUNDIDAD (m)		*Descripción Suelos Perforados Según Sondeador*	Perdida Agua Retorno %
DESDE	HASTA		
12,50	15,00	Maicillo cementado, color gris amarillento.	

PRUEBAS DE PENETRACION (M=63.5Kg. H=0.75m) MUESTREO NO PERTURBADO

Hta. Ocupada	N° de Ensayo	Profundidad		Muestra		NUMERO DE GOLPES			
		Desde	Hasta	N°	Longitud (cm)	N 1	N 2	N 3	Nspt

OBSERVACIONES:

OPERADORES

1° Héctor Urrutia

2° Antonio Maldonado

ESTRATIGRAFIA
CERTIFICADO SONDAJE Nº 012/2011
Proyecto: Boratoma - Catemu

Sondaje 2
Fecha 18-10-2011
Nivel agua sondaje (m) 0.45

Horizonte	Cotas	Descripción del Suelo
1	0.00 1.50	Gravas gruesas y medias arenosa, color gris, humedad alta, compacidad media de cantos redondeados, tamaño máximo 3", sanos.
2	1.50 3.60	Gravas gruesas y medias, sin nada de finos de cantos redondeados, tamaño máximo 4", sanos.
3	3.60 4.60	Gravas gruesas y medias arenosas, color gris, compacidad media, humedad alta de cantos redondeados, tamaño máximo 4", sanos.
4	4.60 6.00	Graves gruesas y medias algo arenosa, color gris, humedad alta, compacidad media de cantos redondeados, tamaño máximo 4 1/2", sanos.
5	6.00 6.90	Gravas gruesas y medias arenosa, color gris, humedad alta, compacidad media de cantos redondeados, tamaño máximo 2", sanos.
6	6.90 7.40	Graves gruesas y medias arenosa, color gris, humedad alta, compacidad media de cantos redondeados, sanos.

ESTRATIGRAFIA
CERTIFICADO SONDAJE N° 012/2011
Proyecto: Bocatoma - Catemu

Sondaje 2
Fecha 18-10-2011
Nivel agua sondaje (m) 0.45

Horizonte	Cotas	Descripción del Suelo
7	7,40 9,80	Gravas con algo de fino, color gris, humedad alta, compacidad media de cantos redondeados, tamaño máximo 4", sanos.
8	9,80 10,90	Gravas gruesas y medias sin finos de cantos redondeados, tamaño máximo 5", sanos.
9	10.90 11.60	Clasto de tamaño máximo 24", color gris claro, tipo granito, apreciable porcentaje de calco pirita, dureza alta y textura suave.
10	11,60 12,00	Gravas gruesas sin finos, tamaño máximo 3", sanos de cantos redondeados.
11	12.00 13,20	Arenas medias con algunas gravas gruesas, color gris, humedad alta, de cantos redondeados.
12	13.20 15,00	Roca altamente meteorizada (maicillo), medianamente cementado, color gris amarillento, humedad alta, granítico, apreciable porcentaje de granos cuarzosos y calco pirita.

REGISTRO DE PERFORACION EN SOBRE CARGA

PROYECTO: Bocatoma **Sondaje:** 2 **Fecha:** 11 10 11

UBICACIÓN: Catemu **Sonda:** KSK **Inclin:** 90°

ANTECEDENTES PERFORACION

METROS PERFORADOS TURNO			PERFORACION		ENTUBACION		NAS Nivel de Agua Interior del Sondaje (m)	PRESION DE TRABAJO Kgr/cm^	
Desde	Hasta	Total	Diametro (Plg)	Profundidad (m)	Diámetro (Plg)	Profundidad (m)		AGUA	ACEITE
0,00	1,50	1,50							
Hora de Inicio		8:30	NQ	0,00	HW	0,00	0,00	2	2
Hora de Termino		18:00	NQ	1,50	HW	1,50	0,45	2	2

PROFUNDIDAD (m)		*Descripción Suelos Perforados Según Sondeador*	Perdida Agua Retorno %
DESDE	HASTA		
0,00	1,50	Gravas arenosas, color gris de cantos redondeados.	

PRUEBAS DE PENETRACION (M=63.5Kg. H=0.75m) MUESTREO NO PERTURBADO

Hta. Ocupada	N° de Ensayo	Profundidad		Muestra		NUMERO DE GOLPES			
		Desde	Hasta	N°	Longitud (cm)	N 1	N 2	N 3	Nspt

OBSERVACIONES:

OPERADORES

1° Héctor Urrutia

2° Antonio Maldonado

REGISTRO DE PERFORACION EN SOBRE CARGA

PROYECTO: Bocatoma **Sondaje:** 2 **Fecha:** 12-10-11

UBICACIÓN: Catemu **Sonda:** KSK **Inclin:** 90°

ANTECEDENTES PERFORACION

METROS PERFORADOS TURNO			PERFORACION		ENTUBACION		NAS Nivel de Agua Interior del Sondaje (m)	PRESION DE TRABAJO Kg/cm²	
Desde	Hasta	Total	Diámetro (Pg.)	Profundidad (m)	Diámetro (Pg.)	Profundidad (m)		AGUA	ACEITE
1,50	4,60	3,10							
Hora de Inicio		8:30	NQ	1,50	HW	1,50	0,45	2	2
Hora de Termino		18:00	NQ	4,60	HW	2,70	0,30	2	2

PROFUNDIDAD (m)		*Descripción Suelos Perforados Según Sondeador*	Perdida Agua Retorno %
DESDE	HASTA		
1,50	3,60	Gravas de cantos redondeados, nada de arena.	

PRUEBAS DE PENETRACION (M=63.5Kg. H=0.75m) MUESTREO NO PERTURBADO

Hta. Ocupada	N° de Ensayo	Profundidad		Muestra		NUMERO DE GOLPES			
		Desde	Hasta	N°	Longitud (cm)	N 1	N 2	N 3	Nspt

OBSERVACIONES:

OPERADORES

1° Héctor Urrutia

2° Antonio Maldonado

REGISTRO DE PERFORACION EN SOBRE CARGA

PROYECTO: Bocatoma **Sondaje:** 2 **Fecha:** 13-10-11

UBICACIÓN: Catemu **Sonda:** KSK **Inclin:** 90°

ANTECEDENTES PERFORACION

METROS PERFORADOS TURNO			PERFORACION		ENTUBACION		NAS Nivel de Agua Interior del Sondaje (m)	PRESION DE TRABAJO Kgr/cm^	
Desde	Hasta	Total	Diametro (Pg.)	Profundidad (m)	Diámetro (Pg.)	Profundidad (m)		AGUA	ACEITE
4,60	6,00	1,40							
Hora de Inicio		8:30	NQ	4,60	HW	2,70	0,30	2	2
Hora de Termino		18:00	NQ	6,00	HW	2,70	0,20	2	2

PROFUNDIDAD (m)		*Descripción Suelos Perforados Según Sondeador*	Perdida Agua Retorno %
DESDE	HASTA		
4,60	6,00	Gravas algo arenosa de cantos redondeados.	

PRUEBAS DE PENETRACION (M=63.5Kg. H=0.75m) MUESTREO NO PERTURBADO

Hta. Ocupada	N° de Ensayo	Profundidad		Muestra		NUMERO DE GOLPES			
		Desde	Hasta	N°	Longitud (cm)	N 1	N 2	N 3	Nspt

OBSERVACIONES:

OPERADORES

1° Héctor Urrutia

2° Antonio Maldonado

REGISTRO DE PERFORACION EN SOBRE CARGA

PROYECTO: Bocatoma | **Sondaje:** 2 | **Fecha:** 14-10-11

UBICACIÓN: Catemu | **Sonda:** KSK | **Inclin:** 90°

ANTECEDENTES PERFORACION

METROS PERFORADOS TURNO			PERFORACION		ENTUBACION		NAS Nivel de Agua Interior del Sondaje (m)	PRESION DE TRABAJO Kgr/cm^	
Desde	Hasta	Total	Diámetro (Plg.)	Profundidad (m)	Diámetro (Plg.)	Profundidad (m)		AGUA	ACEITE
6,00	9,80	3,80							
Hora de Inicio		8:30	NQ	6,00	HW	2,70	0,30	2	2
Hora de Termino		18:00	NQ	9,80	HW	2,70	0,30	2	2

PROFUNDIDAD (m)		*Descripción Suelos Perforados Según Sondeador*	Perdida Agua Retorno %
DESDE	HASTA		
6,00	6,90	Gravas arenosa, color gris de cantos redondeados.	
6,90	7,40	Gravas arenosa, color gris de cantos redondeados.	
7,40	8,20	Gravas con poco fino de cantos redondeados.	
8,20	9,80	Gravas algo arenosa, color gris de cantos redondeados.	

PRUEBAS DE PENETRACION (M=63.5Kg. H=0.75m) MUESTREO NO PERTURBADO

Hta. Ocupada	N° de Ensayo	Profundidad		Muestra		NUMERO DE GOLPES			
		Desde	Hasta	N°	Longitud (cm)	N 1	N 2	N 3	Nspt

OBSERVACIONES:

OPERADORES

1° Héctor Urrutia

2° Antonio Maldonado

REGISTRO DE PERFORACION EN SOBRE CARGA

PROYECTO: Bocatoma **Sondaje:** 2 **Fecha:** 15-10-11

UBICACIÓN: Catemu **Sonda:** KSK **Inclin:** 90°

ANTECEDENTES PERFORACION

METROS PERFORADOS TURNO			PERFORACION		ENTUBACION		NAS Nivel de Agua Interior del Sondaje (m)	PRESION DE TRABAJO Kgf/cm²	
Desde	Hasta	Total	Diametro (Pulg)	Profundidad (m)	Diametro (Pulg)	Profundidad (m)		AGUA	ACEITE
9,80	12,00	2,20							
Hora de Inicio		8:30	NQ	9,80	HW	2,70	0,30	2	2
Hora de Termino		18:00	NQ	12,00	HW	2,70	0,20	3	2

PROFUNDIDAD (m)		*Descripción Suelos Perforados Según Sondeador*	Perdida Agua Retorno %
DESDE	HASTA		
9,80	10,90	Gravas sin finos de cantos redondeados.	
10,90	11,60	Clastos de tamaño máximo 24", color gris.	
11,60	12,00	Gravas sin finos de cantos redondeados.	

PRUEBAS DE PENETRACION (M=63.5Kg. H=0.75m) MUESTREO NO PERTURBADO

Hta. Ocupada	N° de Ensayo	Profundidad		Muestra		NUMERO DE GOLPES			
		Desde	Hasta	N°	Longitud (cm)	N 1	N 2	N 3	Nspt

OBSERVACIONES:

OPERADORES

1° Héctor Urrutia

2° Antonio Maldonado

REGISTRO DE PERFORACION EN SOBRE CARGA

PROYECTO: Bocatoma **Sondaje:** 2 **Fecha:** 16-10-11

UBICACIÓN: Catemu **Sonda:** KSK **Inclin:** 90°

ANTECEDENTES PERFORACION

METROS PERFORADOS TURNO			PERFORACION		ENTUBACION		NAS Nivel de Agua Interior del Sondaje [m]	PRESION DE TRABAJO Kgr/cm^	
Desde	Hasta	Total	Diámetro (Pulg.)	Profundidad (m)	Diámetro (Pulg.)	Profundidad (m)		AGUA	ACEITE
12,00	15,00	3,00							
Hora de Inicio		8:30	NQ	12,00	HW	2,70	0,20	2	2
Hora de Termino		18:00	NQ	15,00	HW	2,70	0,50	3	2

PROFUNDIDAD (m)		*Descripción Suelos Perforados Según Sondeador*	Perdida Agua Retorno %
DESDE	HASTA		
12,00	13,20	Arena con algunas gravas de cantos redondeados.	
13,20	15,00	Maicillo cementado, color gris amarillento.	

PRUEBAS DE PENETRACION (M=63.5Kg. H=0.75m) MUESTREO NO PERTURBADO

Hta. Ocupada	N° de Ensayo	Profundidad		Muestra		NUMERO DE GOLPES			
		Desde	Hasta	N°	Longitud (cm)	N 1	N 2	N 3	Nspt

OBSERVACIONES:

OPERADORES

1° Héctor Urrutia

2° Antonio Maldonado

ANEXO 3-5

RESULTADOS COMPUTACIONALES DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

(DIGITAL)

ANEXO 3-6

CAUDALES MEDIOS MENSUALES
(DIGITAL)

ANEXO 3-7

MODELOS DE SIMULACIÓN EN BOCATOMA CATEMU (DIGITAL)

ANEXO 3-8

CAUDALES MEDIOS SECTOR BOCATOMA (DIGITAL)

ANEXO 3-9

CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL (DIGITAL)

ANEXO 3-10

PRECIPITACIONES MÁXIMAS (DIGITAL)

ANEXO 3-11

ÁLBUM FOTOGRÁFICO QUEBRADAS

ANEXO 3-11

FOTOGRAFÍAS DE QUEBRADAS EN LOS PUNTOS DE CRUCE CON EL CANAL EL ALTO

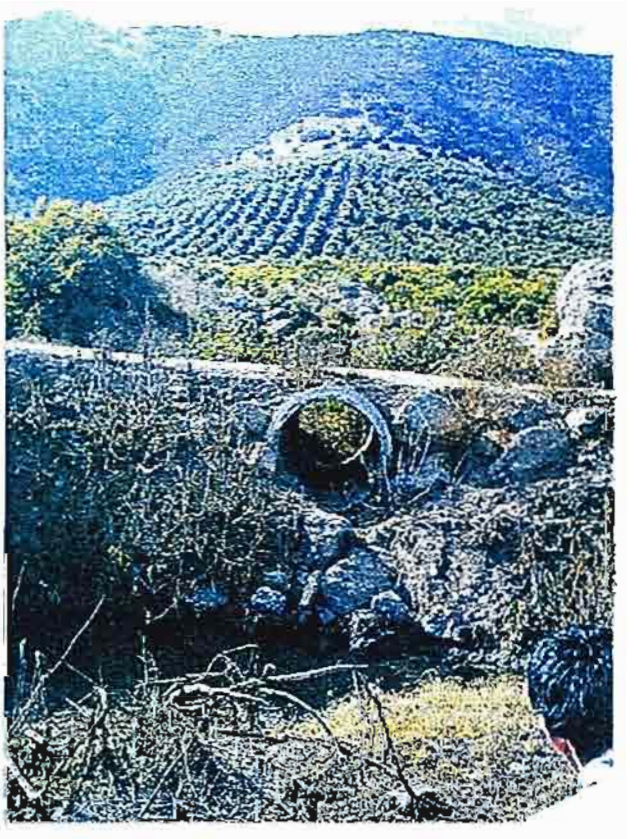
1. **Quebrada 1**

2. Quebrada 2

3. Quebrada 3

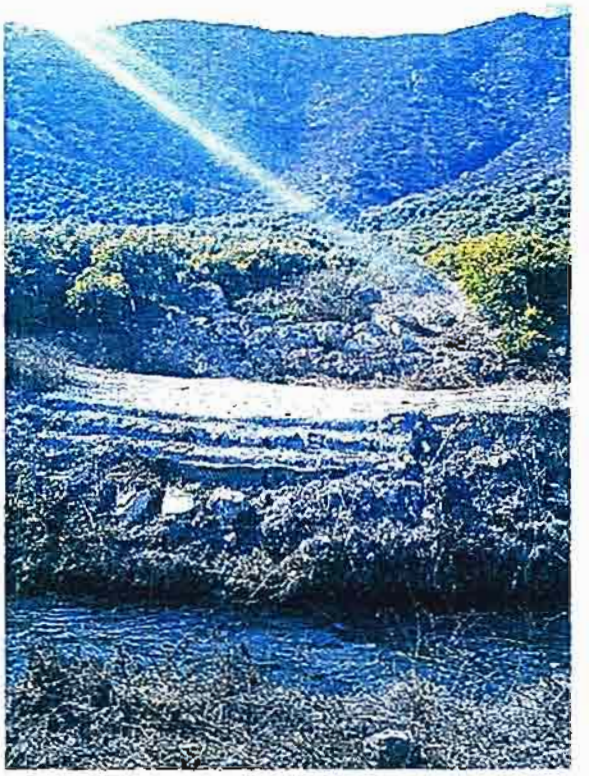
4. Quebrada 4

5. Quebrada 5

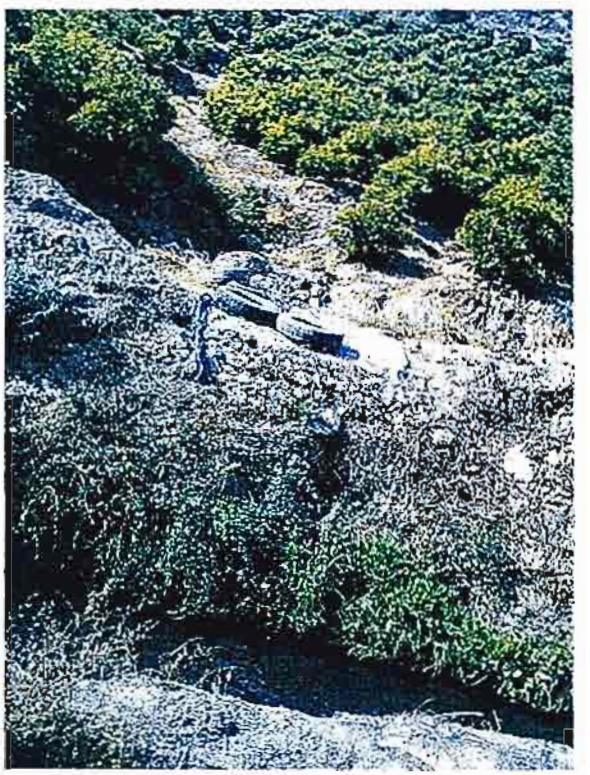


6. Quebrada 6

7. Quebrada 7

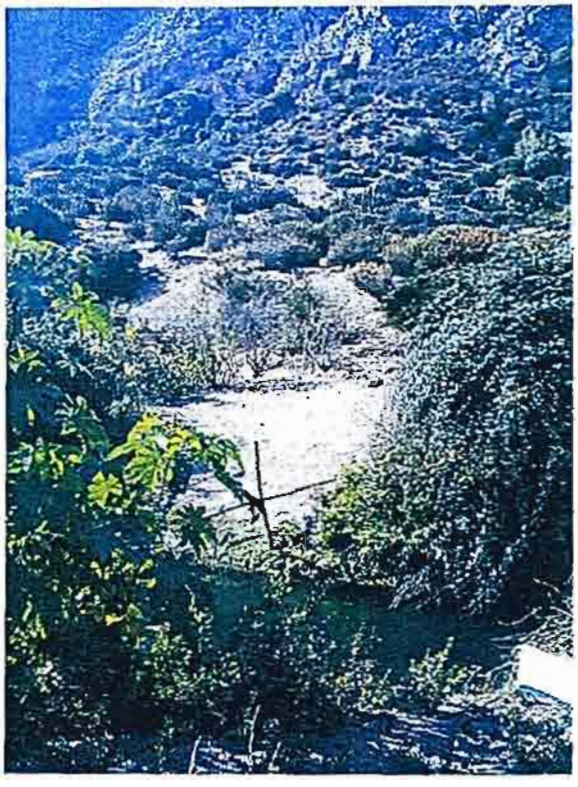


8. Quebrada 8

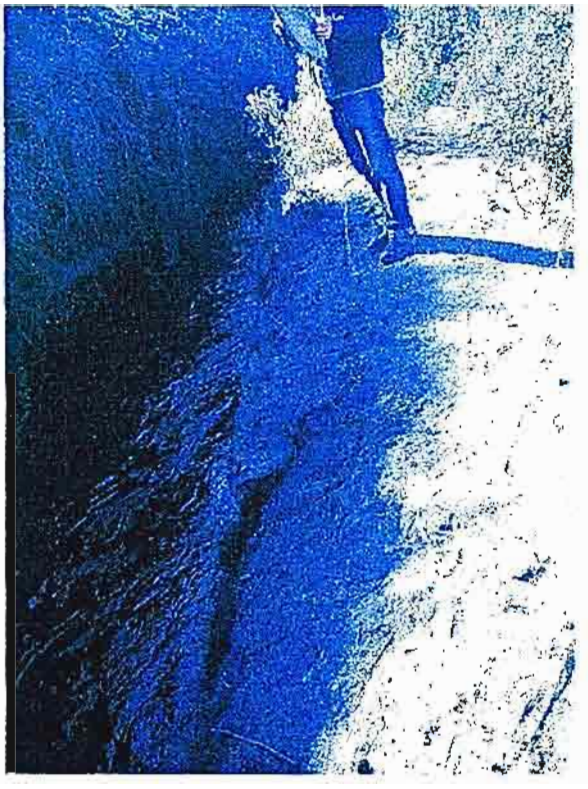


9. Quebrada 9

10. Quebrada 10



11. Canal El Alto



ANEXO 3-12

CAUDALES MÁXIMOS QUEBRADAS (DIGITAL)

ANEXO 3-13

CAUDALES MÁXIMOS EN SAN FELIPE (DIGITAL)

ANEXO 3-14

ESTUDIO AFLORAMIENTOS
(DIGITAL)

ANEXO 3-15

AFOROS RÍO ACONCAGUA 2011

AFORO Nº 1 BRAZO 1
MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, DEBAJO DE CATEMU Y PEPINO

UBICACIÓN: RIO ACONCAGUA BAJO BT CANAL ALTO

FECHA: 04/10/2011

DESCRIPCIÓN: SECCION RUSTICA, ESCURRIMIENTO NORMAL BRAZO 1 RIO ACONCAGUA.

COORDENADAS UTM WGS84

NORTE:

ESTE:

ALTURA:

CAUDAL AFORADO: 0.118 m3/seg

118 lts/seg

DATOS PARA CALCULO DEL AFORO

Nº	ABSCISA	ANCHO AREA DE CALCULO	PROFUNDIDAD (m)		Nº DE VUELTAS	TIEMPO (Seg.)	VELOCIDAD (m/s)		AREA	GASTO
			Total	Observac.			Observada	Corregida		
1	0.00		0.00							
2	0.10	0.400	0.07	0.04	14	68.0	0.127	0.127	0.0280	0.0035
3	0.60	0.400	0.10	0.06	18	59.0	0.196	0.196	0.0400	0.0079
4	0.90	0.300	0.14	0.08	18	65.0	0.177	0.177	0.0420	0.0074
5	1.20	0.300	0.15	0.09	12	61.0	0.120	0.120	0.0450	0.0054
6	1.50	0.300	0.22	0.13	31	64.0	0.322	0.322	0.0660	0.0213
7	1.80	0.300	0.24	0.14	24	64.0	0.245	0.245	0.0720	0.0177
8	2.10	0.300	0.24	0.14	21	70.0	0.193	0.193	0.0720	0.0139
9	2.40	0.400	0.26	0.16	22	69.0	0.206	0.206	0.1040	0.0214
10	2.70	0.300	0.27	0.16	15	62.0	0.152	0.152	0.0810	0.0123
11	2.90	0.300	0.25	0.15	12	75.0	0.094	0.094	0.0750	0.0071
12	3.00		0.00							
								1.832	0.625	0.118

AFORO Nº 1 BRAZO 2
MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, DEBAJO DE CATEMU Y PEPINO

UBICACIÓN: RIO ACONCAGUA BAJO BT CANAL ALTO

FECHA: 04/10/2011

DESCRIPCIÓN: SECCION RUSTICA, ESCURRIMIENTO NORMAL BRAZO 2 RIO ACONCAGUA.

COORDENADAS UTM WGS84

NORTE:

ESTE:

ALTURA:

CAUDAL AFORADO: 0.901 m3/seg

901 lts/seg

DATOS PARA CALCULO DEL AFORO

Nº	ABSCISA	ANCHO AREA DE CALCULO	PROFUNDIDAD (m)		Nº DE VUELTAS	TIEMPO (Seg.)	VELOCIDAD (m/s)		AREA	GASTO
			Total	Observac.			Observada	Corregida		
1	0.00		0.00							
2	0.20	0.500	0.15	0.09	16	63.0	0.160	0.160	0.0750	0.0120
3	0.60	0.400	0.40	0.24	24	57.0	0.278	0.278	0.1600	0.0444
4	1.00	0.400	0.47	0.28	48	64.0	0.508	0.508	0.1880	0.0956
5	1.40	0.400	0.47	0.28	70	59.0	0.815	0.815	0.1880	0.1532
6	1.80	0.400	0.45	0.27	67	60.0	0.766	0.766	0.1800	0.1378
7	2.20	0.400	0.38	0.23	87	59.0	1.017	1.017	0.1520	0.1546
8	2.60	0.400	0.30	0.18	88	58.0	1.047	1.047	0.1200	0.1256
9	3.00	0.400	0.28	0.17	76	59.0	0.886	0.886	0.1120	0.0992
10	3.40	0.300	0.23	0.14	50	58.0	0.587	0.587	0.0690	0.0405
11	3.60	0.400	0.20	0.12	41	59.0	0.470	0.470	0.0800	0.0376
12	3.80		0.00							
								6.534	1.324	0.901

AFORO Nº 2
MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, DEBAJO DE CATEMU Y PEPINO

UBICACIÓN: RIO ACONCAGUA ENTER CANAL ALTO Y PEPINO

FECHA: 04/10/2011

DESCRIPCIÓN:

COORDENADAS UTM WGS84

NORTE:

ESTE:

ALTURA:

CAUDAL AFORADO: 1.494 m3/seg

1494 lts/seg

DATOS PARA CALCULO DEL AFORO

Nº	ABSCISA	ANCHO AREA DE CALCULO	PROFUNDIDAD (m)		Nº DE VUELTAS	TIEMPO (Seg.)	VELOCIDAD (m/s)		AREA	GASTO
			Total	Observac.			Observada	Corregida		
1	0.00		0.00							
2	0.20	0.350	0.18	0.11	18	62.0	0.186	0.186	0.0630	0.0117
3	0.50	0.400	0.20	0.12	46	60.0	0.520	0.520	0.0800	0.0416
4	1.00	0.500	0.36	0.22	74	63.0	0.806	0.806	0.1800	0.1452
5	1.50	0.500	0.36	0.22	73	61.0	0.822	0.822	0.1800	0.1479
6	2.00	0.500	0.45	0.27	104	60.0	1.198	1.198	0.2250	0.2697
7	2.50	0.500	0.47	0.28	96	61.0	1.087	1.087	0.2350	0.2553
8	3.00	0.500	0.40	0.24	92	60.0	1.058	1.058	0.2000	0.2116
9	3.50	0.500	0.40	0.24	51	60.0	0.579	0.579	0.2000	0.1157
10	4.00	0.500	0.35	0.21	66	60.0	0.754	0.754	0.1750	0.1320
11	4.50	0.500	0.32	0.19	64	62.0	0.707	0.707	0.1600	0.1130
12	5.00	0.400	0.30	0.18	29	60.0	0.321	0.321	0.1200	0.0386
13	5.30	0.350	0.20	0.12	19	71.0	0.170	0.170	0.0700	0.0119
14	5.50		0.00							
								8.208	1.888	1.494

AFORO Nº 3
MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, DEBAJO DE CATEMU Y PEPINO

UBICACIÓN

FECHA 04/10/2011

COORDENADAS UTM WGS84

DESCRIPCIÓN

NORTE

ESTE

ALTURA

CAUDAL AFORADO 1.449 m3/seg

1449 lts/seg

DATOS PARA CALCULO DEL AFORO

Nº	ABSCISA	ANCHO AREA DE CALCULO	PROFUNDIDAD (m)		Nº DE VJELTAS	TIEMPO (Seg.)	VELOCIDAD (m/s)		AREA	GASTO
			Total	Observac.			Observada	Corregida		
1	0.00		0.00							
2	0.20	0.350	0.14	0.08	22	72.0	0.197	0.197	0.0490	0.0096
3	0.50	0.400	0.12	0.07	24	61.0	0.258	0.258	0.0480	0.0124
4	1.00	0.500	0.17	0.10	30	60.0	0.333	0.333	0.0850	0.0283
5	1.50	0.500	0.17	0.10	45	60.0	0.508	0.508	0.0850	0.0432
6	2.00	0.500	0.17	0.10	35	61.0	0.385	0.385	0.0850	0.0327
7	2.50	0.500	0.18	0.11	32	61.0	0.350	0.350	0.0900	0.0315
8	3.00	0.500	0.21	0.13	42	62.0	0.458	0.458	0.1050	0.0480
9	3.50	0.500	0.21	0.13	48	60.0	0.544	0.544	0.1050	0.0571
10	4.00	0.500	0.22	0.13	52	63.0	0.561	0.561	0.1100	0.0618
11	4.50	0.500	0.21	0.13	49	62.0	0.537	0.537	0.1050	0.0564
12	5.00	0.500	0.25	0.15	47	60.0	0.532	0.532	0.1250	0.0665
13	5.50	0.500	0.21	0.13	42	60.0	0.473	0.473	0.1050	0.0497
14	6.00	0.500	0.30	0.18	57	62.0	0.627	0.627	0.1500	0.0941
15	6.50	0.500	0.32	0.19	52	62.0	0.571	0.571	0.1600	0.0913
16	7.00	0.500	0.31	0.19	68	62.0	0.752	0.752	0.1550	0.1165
17	7.50	0.500	0.32	0.19	57	63.0	0.617	0.617	0.1600	0.0987
18	8.00	0.500	0.30	0.18	54	63.0	0.584	0.584	0.1500	0.0875
19	8.50	0.500	0.31	0.19	54	61.0	0.603	0.603	0.1550	0.0935
20	9.00	0.500	0.31	0.19	43	60.0	0.485	0.485	0.1550	0.0752
21	9.50	0.500	0.34	0.20	53	60.0	0.602	0.602	0.1700	0.1023
22	10.00	0.500	0.31	0.19	50	60.0	0.567	0.567	0.1550	0.0879
23	10.50	0.500	0.28	0.17	51	61.0	0.569	0.569	0.1400	0.0796
24	11.00	0.350	0.17	0.10	38	61.0	0.419	0.419	0.0595	0.0249
25	11.30		0.00							
								11.532	2.707	1.449

AFORO Nº 1 BRAZO 1
MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, DEBAJO DE CATEMU Y PEPINO

UBICACION: RIO ACONCAGUA BAJO BT CANAL ALTO

FECHA: 05/10/2011

DESCRIPCIÓN: SECCION RUSTICA, ESCURRIMIENTO NORMAL BRAZO 1 RIO ACONCAGUA.

COORDENADAS UTM WGS84

NORTE:

ESTE:

ALTURA:

CAUDAL AFORADO: 0.113 m3/seg

113 lts/seg

DATOS PARA CALCULO DEL AFORO

Nº	ABSCISA	ANCHO AREA DE CALCULO	PROFUNDIDAD (m)		Nº DE VUELTAS	TIEMPO (Seg.)	VELOCIDAD (m/s)		AREA	GASTO
			Total	Observac.			Observada	Corregida		
1	0.00		0.00							
2	0.10	0.400	0.02	0.01	3	60.0	0.017	0.017	0.0080	0.000
3	0.40	0.250	0.07	0.04	7	61.0	0.063	0.063	0.0175	0.001
4	0.60	0.250	0.10	0.06	17	73.0	0.146	0.146	0.0250	0.0036
5	0.90	0.300	0.14	0.08	17	62.0	0.175	0.175	0.0420	0.0073
6	1.20	0.300	0.18	0.11	26	60.0	0.286	0.286	0.0540	0.0155
7	1.50	0.300	0.24	0.14	34	73.0	0.309	0.309	0.0720	0.0222
8	1.80	0.300	0.24	0.14	27	61.0	0.293	0.293	0.0720	0.021
9	2.10	0.300	0.24	0.14	23	82.0	0.179	0.179	0.0720	0.0129
10	2.40	0.300	0.26	0.16	16	67.0	0.150	0.150	0.0780	0.0117
11	2.70	0.250	0.26	0.16	12	59.0	0.125	0.125	0.0650	0.0081
12	2.90	0.300	0.24	0.14	15	75.0	0.123	0.123	0.0720	0.0088
13	3.00		0.00							
								1.865	0.578	0.113

AFORO Nº 1 BRAZO 2
MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, DEBAJO DE CATEMU Y PEPINO

UBICACIÓN: RIO ACONCAGUA BAJO BT CANAL ALTO

FECHA: 05/10/2011

DESCRIPCIÓN: SECCION RUSTICA, ESCURRIMIENTO NORMAL BRAZO 2 RIO ACONCAGUA.

COORDENADAS UTM WGS84

NORTE

ESTE

ALTURA

CAUDAL AFORADO: 0.655 m3/seg

655 lts/seg

DATOS PARA CALCULO DEL AFORO

Nº	ABSCISA	ANCHO AREA DE CALCULO	PROFUNDIDAD (m)		Nº DE VUELTAS	TIEMPO (Seg.)	VELOCIDAD (m/s)		AREA	GASTO
			Total	Observac.			Observada	Corregida		
1	0.00		0.00							
2	0.20	0.500	0.18	0.11	17	59.0	0.184	0.184	0.0900	0.0166
3	0.60	0.400	0.27	0.16	34	60.0	0.380	0.380	0.1080	0.0410
4	1.00	0.450	0.29	0.17	52	61.0	0.580	0.580	0.1305	0.0757
5	1.50	0.500	0.36	0.22	65	60.0	0.742	0.742	0.1800	0.1336
6	2.00	0.500	0.41	0.25	72	63.0	0.784	0.784	0.2050	0.1607
7	2.50	0.500	0.48	0.29	61	61.0	0.684	0.684	0.2400	0.1641
8	3.00	0.500	0.50	0.30	19	59.0	0.208	0.208	0.2500	0.0520
9	3.50	0.400	0.28	0.17	12	70.0	0.102	0.102	0.1120	0.0115
10	3.80		0.00							
								3.666	1.316	0.655

AFORO Nº 2
MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, DEBAJO DE CATEMU Y PEPINO

UBICACIÓN: RIO ACONCAGUA ENTER CANAL ALTO Y PEPINO

FECHA: 05/10/2011

DESCRIPCIÓN:

COORDENADAS UTM WGS84

NORTE:

ESTE:

ALTURA:

CAUDAL AFORADO: 1.498 m3/seg

1498 lts/seg

DATOS PARA CALCULO DEL AFORO

Nº	ABSCISA	ANCHO AREA DE CALCULO	PROFUNDIDAD (m)		Nº DE VUELTAS	TIEMPO (Seg.)	VELOCIDAD (m/s)		AREA	GASTO
			Total	Observac.			Observada	Corregida		
1	0.00		0.00							
2	0.20	0.350	0.18	0.11	30	62.0	0.322	0.322	0.0630	0.0203
3	0.60	0.450	0.36	0.22	70	60.0	0.801	0.801	0.1620	0.1297
4	1.10	0.500	0.38	0.23	75	63.0	0.818	0.818	0.1900	0.1553
5	1.60	0.500	0.39	0.23	87	61.0	0.983	0.983	0.1950	0.1917
6	2.10	0.500	0.46	0.28	94	60.0	1.082	1.082	0.2300	0.2488
7	2.60	0.500	0.46	0.28	76	61.0	0.856	0.856	0.2300	0.1970
8	3.10	0.500	0.45	0.27	84	60.0	0.965	0.965	0.2250	0.2170
9	3.60	0.500	0.33	0.20	45	60.0	0.508	0.508	0.1650	0.0839
10	4.10	0.500	0.34	0.20	86	60.0	0.754	0.754	0.1700	0.1282
11	4.60	0.500	0.31	0.19	49	62.0	0.537	0.537	0.1550	0.0832
12	5.10	0.400	0.30	0.18	28	60.0	0.310	0.310	0.1200	0.0372
13	5.40	0.350	0.22	0.13	10	71.0	0.081	0.081	0.0770	0.0062
14	5.60		0.00							
								8.016	1.982	1.498

AFORO N° 3
MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, DEBAJO DE CATEMU Y PEPINO

UBICACIÓN

FECHA 05/10/2011

COORDENADAS UTM WGS84

DESCRIPCIÓN

NORTE

ESTE

CAUDAL AFORADO 1.732 m3/seg
1732 lts/seg

ALTURA

DATOS PARA CALCULO DEL AFORO

N°	ABSCISA	ANCHO AREA DE CALCULO	PROFUNDIDAD (m)		N° DE VUELTAS	TIEMPO (Seg.)	VELOCIDAD (m/s)		AREA	GASTO
			Total	Observac.			Observada	Corregida		
1	0.00		0.00							
2	0.20	0.350	0.11	0.07	15	59.0	0.161	0.161	0.0385	0.0062
3	0.70	0.750	0.12	0.07	24	64.0	0.245	0.245	0.0900	0.0221
4	1.70	1.000	0.18	0.11	46	62.0	0.503	0.503	0.1800	0.0905
5	2.70	1.000	0.20	0.12	32	59.0	0.363	0.363	0.2000	0.0726
6	3.70	1.000	0.24	0.14	51	61.0	0.569	0.569	0.2400	0.1365
7	4.70	1.000	0.25	0.15	54	60.0	0.614	0.614	0.2500	0.1534
8	5.70	1.000	0.25	0.15	52	60.0	0.590	0.590	0.2500	0.1476
9	6.70	1.000	0.25	0.15	56	60.0	0.637	0.637	0.2500	0.1593
10	7.70	1.000	0.25	0.15	61	64.0	0.651	0.651	0.2500	0.1628
11	8.70	1.000	0.28	0.17	52	61.0	0.580	0.580	0.2800	0.1625
12	9.70	1.000	0.37	0.22	60	62.0	0.661	0.661	0.3700	0.2447
13	10.70	1.000	0.35	0.21	62	67.0	0.632	0.632	0.3500	0.2210
14	11.70	0.750	0.28	0.17	52	59.0	0.601	0.601	0.2100	0.1261
15	12.20	0.350	0.18	0.11	39	62.0	0.424	0.424	0.0630	0.0267
16	12.40		0.00							
								7.230	3.022	1.732

ANEXO 3-16

DERECHOS DE AGUAS
(DIGITAL)

ANEXO 3-17

DOCUMENTOS SAG
(DIGITAL)

ANEXO 3-18

LISTADO DE USUARIOS
(DIGITAL)

ANEXO 3-19

ACUERDOS ORGANIZACIONES (DIGITAL)

ANEXO 3-20

FICHAS CATASTRO
(DIGITAL)

ANEXO 3-21

SIMULACIÓN HEC-RAS CANALES ARRIBA Y ABAJO DE CATEMU - SIT. ACTUAL (DIGITAL)

ANEXO 3-22

CAPACIDAD ACTUAL DE CANALES ARRIBA Y ABAJO DE CATEMU (DIGITAL)

ANEXO 4-1

ESTADÍSTICAS DE CAUDALES (DIGITAL)

ANEXO 4-2

DISEÑO DE CANALES
(DIGITAL)

ANEXO 4-3

MOVIMIENTOS DE TIERRA
(DIGITAL)

ANEXO 4-4

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS (DIGITAL)

ANEXO 6-1

MODELO SIMULACIÓN OPERACIONAL (DIGITAL)

ANEXO 7-1

ANÁLISIS DE ALTERNATIVA DE MATERIALES (DIGITAL)

ANEXO 7-2

ESTUDIO DE OBRAS DE RIEGO
(DIGITAL)

ANEXO 7-3

ESTUDIO DE MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA DETERMINAR EL CAUDAL ÓPTIMO (DIGITAL)

ANEXO 7-4

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA DETERMINAR DE CAUDAL ÓPTIMO (DIGITAL)

ANEXO 7-7

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO CANAL UNIFICADO Y CANAL ARRIBA DE CATEMU

PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCION RIO ACONCAGUA

ANEXO 7-7

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO
CANAL UNIFICADO Y CANAL ARRIBA DE CATEMU

REVISIÓN A

23.01.12

FEBRERO 2011

INFORME DESARROLLADO POR:

CALCULADO POR:	DAVID ARACENA
REVISADO POR:	

REVISIONES

REVISION	TIPO DE CAMBIO	FECHA
B	Cambio de Caudal	16-02-201

1 DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1 Definición de Canales y Trazados

El canal Unificado de Catemu tiene la finalidad de conducir los derechos de los canales Arriba de Catemu, abajo de Catemu y Pepino; Estos tres canales en la actualidad extraen sus aguas en forma separada, la idea del proyecto es extraer todo el recurso por el canal que tiene mayor cota, el de Arriba de Catemu y en el km 5,5 descargar y entregar recursos a los canales Abajo de Catemu y Pepino.

La siguiente Figura muestra el trazado de este canal unificado que totaliza 16,15 km y el mejoramiento del canal del Alto desde el km 16,15 al km 17,5.

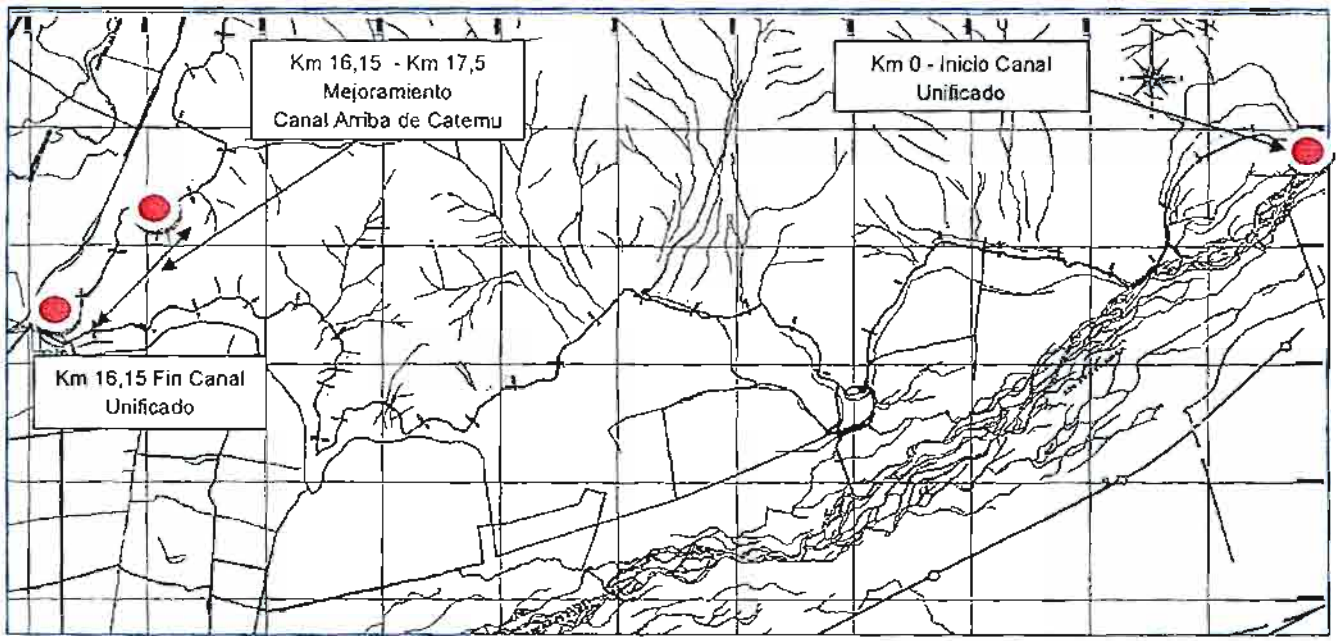


Figura N°1. Trazado Canal Matriz

1.2 Caudales de Diseño

Los derechos totales de los tres canales resultan ser de 16 m3/s según escritura; sin embargo en función de lo solicitado por los regantes el caudal para el diseño del canal unificado será de 13 m3/s, considerando que captaran 3 m3/s por la tomas antiguas de los canales abajo de Catemu y Pepino.

Aguas abajo de la descarga de la central proyectada km 16,15 sigue solo el canal del Alto el cual también será abovedado, en este caso el canal porteara 2,1 m3/s, este caudal corresponde que es el caudal necesario para abastecer la zona de riego en situación actual y futura del canal Arriba Catemu según el modelo de simulación presentado en la etapa 3.

Diseño Hidráulico de Canales

1.2.1 Criterios de Diseño Hidráulico

Para el diseño hidráulico de canales, se siguieron los lineamientos presentados en las bases de diseño hidráulico presentadas en los capítulos del informe A continuación se mencionan algunos de los aspectos más relevantes considerados para el diseño de canales en dicho documento.

Revestimientos

Se determinó que el canal debe ser revestido debido a la longitud del tramo de canal a mejorar.

Rugosidades

El coeficiente de rugosidad de Manning adoptado para el diseño, corresponde a n = 0,013 para los canales revestidos de hormigón. Para los revestimientos en mampostería en piedra se adopta un n= 0,025.

Revanchas

El criterio de revanchas adoptado, corresponde a un mínimo de 15% de la altura de agua para el caudal de diseño ó 20 cm, y una revancha máxima de 50 cm.

Velocidades Admisibles

El criterio de velocidades mínimas admisibles adoptado en canales para asegurar que no se produzca sedimentación corresponde a 0,6 m/s.

1.2.2 Dimensionamiento de las Secciones

a.- Tramo 1 (Sección abierta Km 0 – Km 13,7)

El dimensionamiento de las secciones transversales y la pendiente longitudinal de cada tramo de canal se determinó buscando satisfacer bajo condiciones idóneas de escurrimiento las cotas de entrega definidas y a la vez seleccionar aquellas dimensiones que permitan conseguir una economía en los costos de construcción.

El tipo de sección escogida en todos los tramos de la red primaria y secundaria es de tipo trapecial con revestimiento de hormigón, tal como se muestra en la Figura N°2. En todos los casos se adoptó un talud de Z = 1, basándose en las consideraciones de taludes estipuladas en los criterios de diseño.

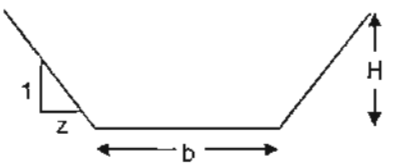


Figura N°2. Esquema Típico de Sección Trapecial

Las dimensiones específicas b, H en cada caso se determinaron a partir del caudal y la pendiente de diseño de cada tramo, de manera tal de cumplir con las condiciones de velocidades admisibles y revancha mínima, establecidas en los criterios de diseño. Se inspeccionaron diversas combinaciones, de tal manera de hallar aquellas que minimicen la sección de excavación y el perímetro de revestimiento.

B.- Tramo 2 – Sección abovedada (Km 13,7 al Km 16,8)

Se considera por inestabilidad del borde el abovedamiento de la sección del canal, para lo cual en el tramo del canal matriz se utilizara una sección doble cajón según recomendaciones del manual de carreteras en su vol.4 de B=2,5 m x H=2,0 m (figura 3) y aguas abajo de la central donde solo continuara el canal del alto una sección tipo cajón simple recomendada del manual de carreteras en su vol.4 de B=2,5 x H=2,0 m (figura 4).

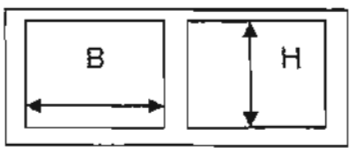


Figura N°3. Esquema Típico de Sección Doble Cajón

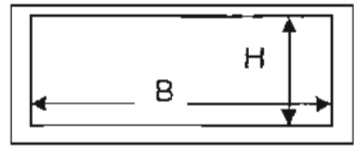


Figura N°4. Esquema Típico de Sección Cajón

La altura H se determinó con el eje hidráulico, para lo cual se modelo el canal proyectado con el programa HEC-RAS. El cuadro siguiente indica el detalle de los resultados del eje hidráulico:

Tabla N°1 – Resultados del Eje Hidráulico

Q Total	Km	Fondo	E.H.	E.H.	Ec	ENERGIA	J	Vm	A	L	Fr
(m3/s)	(m)	(m)	(msnm)	(m)	(m)	(msnm)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
13	0	520.65	522.03	1.38		522.27	0.001903	2.17	6.07	5.77	0.59
13	590	519.5	520.86	1.36		521.1	0.002045	2.22	5.93	5.72	0.61
13	1095	518.39	519.68	1.29		519.96	0.002508	2.37	5.54	5.58	0.67
13	1100	518.38	519.75	1.37		519.92	0.001342	1.81	7.28	6.59	0.49
13	2000	516.9	518.07	1.17		518.31	0.00246	2.2	5.97	6.2	0.65
13	2900	515.38	516.95	1.57		517.07	0.000838	1.56	8.48	6.81	0.4
13	3800	514.75	515.86	1.11		516.14	0.001289	2.36	5.5	5.95	0.78
13	5195	513.21	514.44	1.23		514.66	0.000865	2.05	6.35	6.31	0.65
13	5200	513.2	514.43	1.23		514.65	0.000911	2.1	6.2	6.1	0.66
13	5510	512.81	514.18	1.37		514.39	0.000782	2.02	6.44	5.41	0.59
13	5516	512.81	513.83	1.02	513.83	514.35	0.002883	3.18	4.09	4	1
13	5675	512.25	513.33	1.08	513.27	513.79	0.002447	3.01	4.33	4	0.92
13	5680	512.24	513.36	1.12	513.33	513.76	0.00199	2.83	4.6	5.23	0.96
13	6000	511.66	512.9	1.24	512.75	513.21	0.001367	2.47	5.27	5.48	0.8
13	7200	509.75	510.88	1.13	510.84	511.28	0.001908	2.78	4.67	5.26	0.94
13	8130	508.5	509.97	1.47		510.17	0.000742	1.98	6.57	5.94	0.6
13	8900	507.77	508.92	1.15	508.86	509.3	0.001845	2.75	4.72	5.23	0.93
13	11000	504.09	505.26	1.17	505.18	505.62	0.001668	2.65	4.9	5.35	0.88
13	12200	502.3	503.57	1.27		503.86	0.001264	2.4	5.42	5.54	0.77
13	13200	500.8	502	1.20	501.91	502.38	0.001752	2.73	4.75	4.92	0.89
13	13695	500.04	501.68	1.64		501.86	0.000581	1.83	7.09	5.63	0.52
13	13700	500.03	501.51	1.48		501.83	0.001428	2.51	5.18	3.5	0.66
13	14395	498.97	500.32	1.35		500.71	0.001842	2.75	4.72	3.5	0.76
13	14400	498.96	500.4	1.44		500.66	0.001091	2.26	5.76	4	0.6
13	15795	497.57	499.35	1.78		499.52	0.000615	1.83	7.1	4	0.44
13	15800	497.57	499.39	1.82		499.49	0.001722	1.43	9.08	5	0.34

Tabla N°1 – Resultados del Eje Hidráulico (continuación)

Q Total	Km	Fondo	E.H.	E.H.	Ec	ENERGIA	J	Vm	A	L	Fr
(m3/s)	(m)	(m)	(msnm)	(m)	(m)	(msnm)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
13	15800	497.57	499.39	1.82		499.49	0.001722	1.43	9.08	5	0.34
13	16000	497.4	498.88	1.48		499.04	0.003043	1.75	7.42	5	0.46
13	16150	497.27	498.15	0.88		498.59	0.002609	2.95	4.4	5	1
2.1	16155	497.26	498.1	0.84		498.18	0.000754	1.25	1.68	2	0.44
2.1	17068	496.44	497.81	1.37		497.84	0.000207	0.77	2.73	2	0.21
2.1	17615	496.31	497.7	1.39	496.79	497.73	0.0002	0.76	2.77	2	0.21

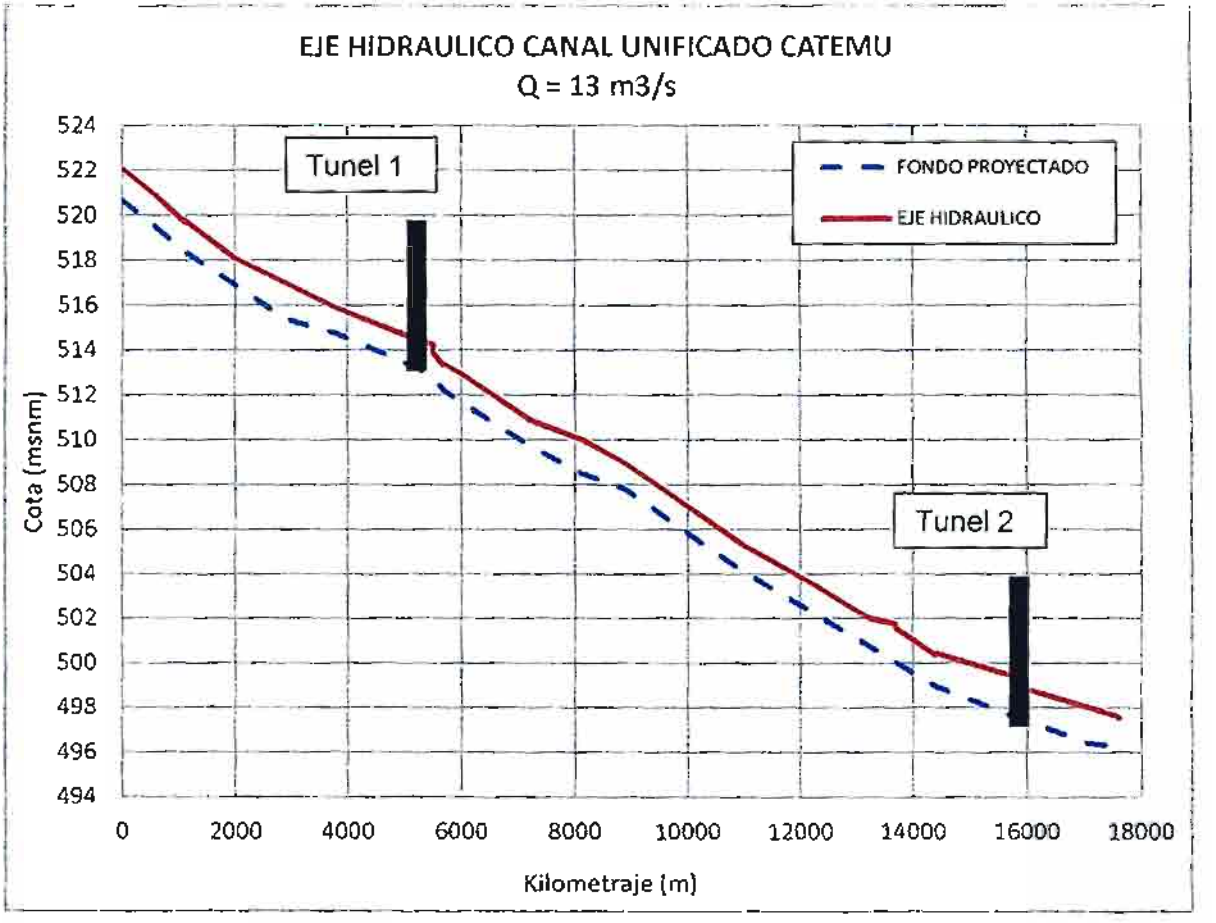


Figura N°5 – Perfil del eje Hidráulico

Con los antecedentes del eje hidráulico se realizó el dimensionamiento de cada tramo de canal, según los criterios de revancha mencionados anteriormente:

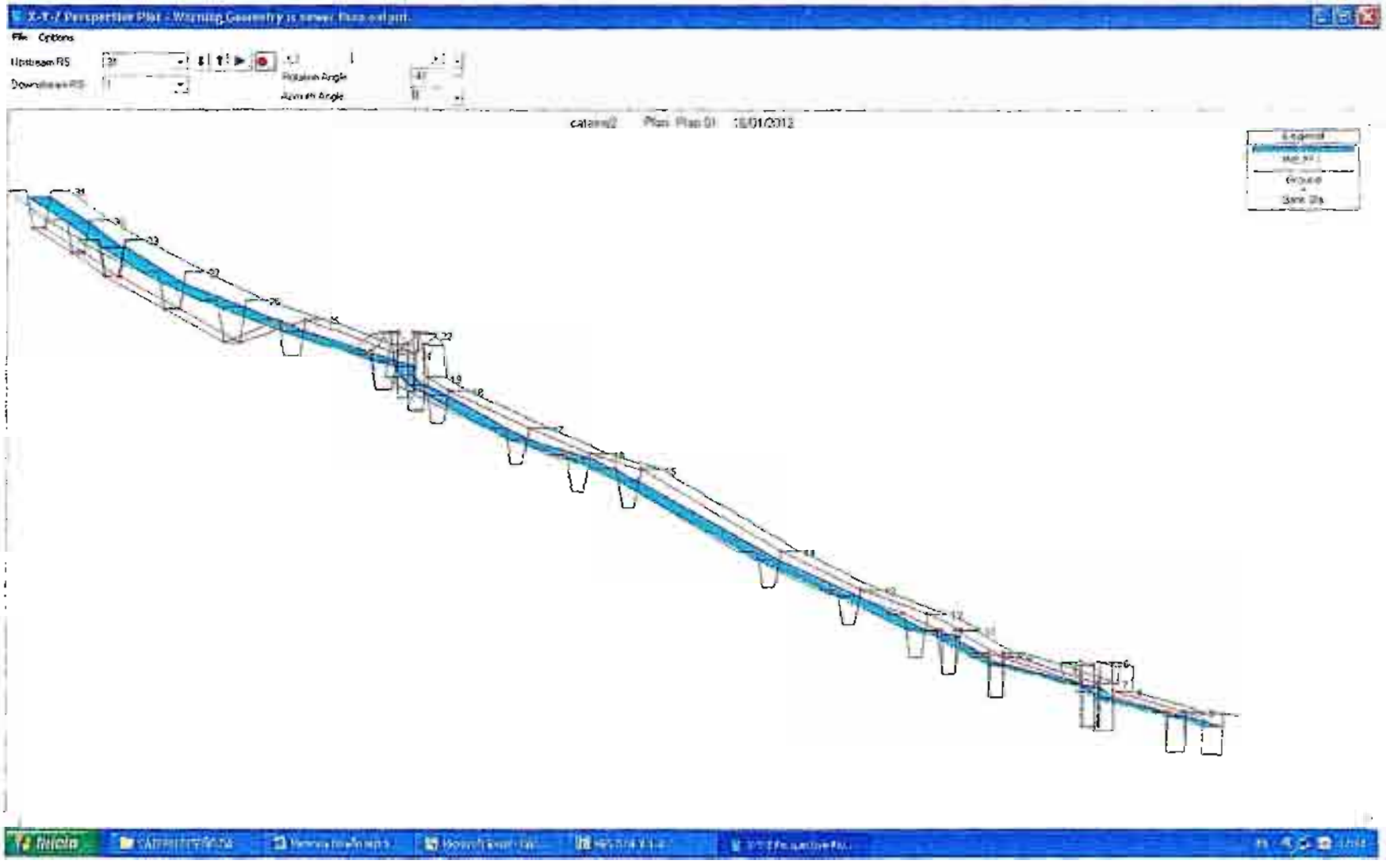


Figura N°6 – Isométrica de perfil Eje Hidráulico

Tabla N°2 – Dimensionamiento de la altura Muro

Km	Fondo	E.H.	E.H.	REVANCHA	H Muro	COTA MURO	REVANCHA
(m)	(m)	(msnm)	(m)	(m)	(m)	(msnm)	FINAL
0	520.65	522.03	1.38	0.21	1.7	522.35	0.32
590	519.5	520.86	1.36	0.20	1.7	521.2	0.34
1095	518.39	519.68	1.29	0.20	1.7	520.09	0.41
1100	518.38	519.75	1.37	0.21	1.7	520.08	0.33
2000	516.9	518.07	1.17	0.20	1.7	518.6	0.53
2900	515.38	516.95	1.57	0.24	1.9	517.28	0.33
3800	514.75	515.86	1.11	0.20	1.6	516.35	0.49
5195	513.21	514.44	1.23	0.20	1.6	514.81	0.37
5200	513.2	514.43	1.23	0.20	1.6	514.8	0.37
5510	512.81	514.18	1.37	0.21	1.5	514.31	0.13
5516	512.81	513.83	1.02	0.20	tunel		
5675	512.25	513.33	1.08	0.20	1.5	513.75	0.42
5680	512.24	513.36	1.12	0.20	1.5	513.74	0.38
6000	511.66	512.9	1.24	0.20	1.5	513.16	0.26
7200	509.75	510.88	1.13	0.20	1.7	511.45	0.57
8130	508.5	509.97	1.47	0.22	1.75	510.25	0.28
8900	507.77	508.92	1.15	0.20	1.6	509.37	0.45
11000	504.09	505.26	1.17	0.20	1.6	505.69	0.43
12200	502.3	503.57	1.27	0.20	1.6	503.9	0.33
13200	500.8	502	1.2	0.20	2	502.8	0.8
13695	500.04	501.68	1.64	0.25	2	502.04	0.36
13700	500.03	501.51	1.48	0.22	2	502.03	0.52
14395	498.97	500.32	1.35	0.20	2	500.97	0.65
14400	498.96	500.4	1.44	0.22	2	500.96	0.56
15795	497.57	499.35	1.78	0.27	2	499.57	0.22
15800	497.57	499.39	1.82	0.27	tunel		
16000	497.4	498.88	1.48	0.22	2	499.4	0.52
16150	497.27	498.15	0.88	0.20	2	499.27	1.12
16155	497.26	498.1	0.84	0.20	2	499.26	1.16
17068	496.44	497.81	1.37	0.21	2	498.44	0.63
17615	496.31	497.7	1.39	0.21	2	498.31	0.6[illegible]

Finalmente se muestra el dimensionamiento de los muros por tramo

Tabla N°3 – Características Canal Proyectado

Km i	Km f	Q	B	H	D	n talud	n fondo	k	I	TIPO	Característica
(m)	(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)						
0	590	13	3	1.7	6.4	0.013	0.025	1	0.001949153	1	Trapecial
590	1100	13	3	1.7	6.4	0.013	0.025	1	0.002196078	1	Trapecial
1100	2000	13	4	1.7	7.4	0.013	0.025	1	0.001644444	1	Trapecial
2000	2900	13	4	1.9	7.8	0.013	0.025	1	0.001684444	1	Trapecial
2900	3800	13	4	1.9	7.8	0.013	0.013	1	0.000704444	1	Trapecial
3800	5200	13	4	1.6	7.2	0.013	0.013	1	0.001107143	1	Trapecial
5200	5516	13	4	1.5	7	0.013	0.013	1	0.001246835	1	Trapecial
5516	5675	13	4	3		0.013	0.013	0	0.003471698	1	Túnel
5675	6000	13	3	1.5	6	0.013	0.013	1	0.001827692	1	Trapecial
6000	7200	13	3	1.7	6.4	0.013	0.013	1	0.001591667	1	Trapecial
7200	8130	13	3	1.7	6.4	0.013	0.013	1	0.001344086	1	Trapecial
8130	8900	13	3	1.75	6.5	0.013	0.013	1	0.000948052	1	Trapecial
8900	11000	13	3	1.6	6.2	0.013	0.013	1	0.001752381	1	Trapecial
11000	12200	13	3	1.6	6.2	0.013	0.013	1	0.001491667	1	Trapecial
12200	13200	13	3	1.6	6.2	0.013	0.013	1	0.0015	1	Trapecial
13200	13700	13	3	2	7	0.013	0.013	1	0.001533333	1	Trapecial
13700	14400	13	4	2	-	0.013	0.013	0	0.001533333	2	Rectangular
14400	15800	13	4	2	-	0.013	0.013	0	0.000992857	2	Rectangular
15800	16000	13	5	3		0.013	0.013	0	0.00085		Túnel
16000	16150	13	5	2		0.013	0.013	0	0.000900749	2	Rectangular
16150	17068	2.1	2	2	-	0.013	0.013	0	0.000900749	3	Rectangular
17068	17615	2.1	2	2	-	0.013	0.013	0	0.000228519	3	Rectangular

1.2.3 Corte y Relleno de la Sección Transversal

En el trazado de canales considera la implementación de un camino de acceso paralelo al eje del canal, cuyo ancho debe ser aproximadamente equivalente al ancho total de la sección del canal en planta.

La Fig. N°7 esquematiza la geometría típica de las secciones de corte y relleno de los canales tipo 1. La inclinación de los taludes de corte está basada en las conclusiones del estudio geotécnico. Por su parte, la Tabla N°4 indica las dimensiones específicas de cada tramo en relación a la Figura, asociados al Canal Matriz.

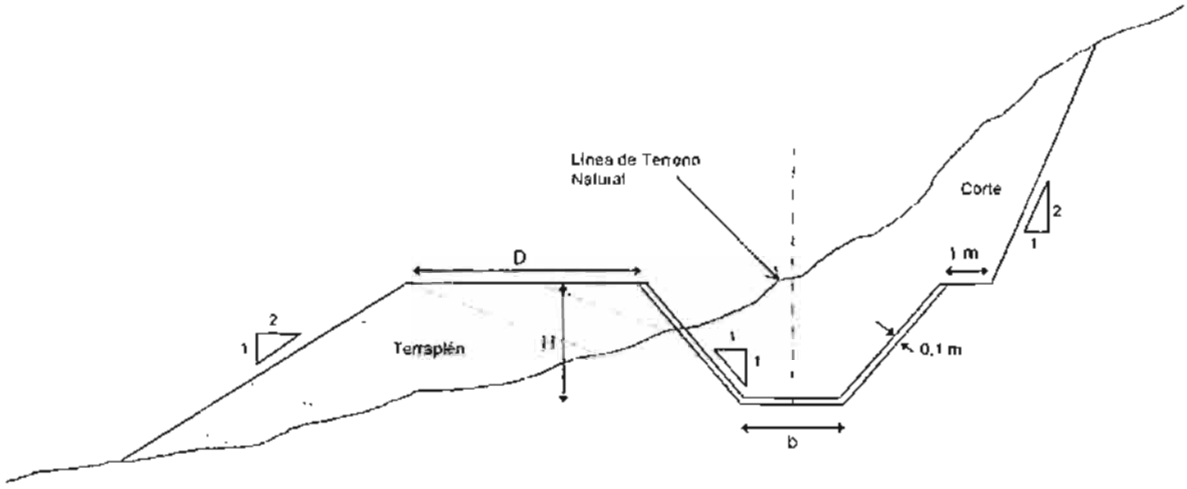


Figura N°7. Esquema Típico de Sección de Corte y Relleno (Tipo 1)

En el caso de las secciones tipo 2 y 3no es necesario confeccionar camino de borde, por lo que las secciones son según lo mostrados en las figuras N°8 y N°9

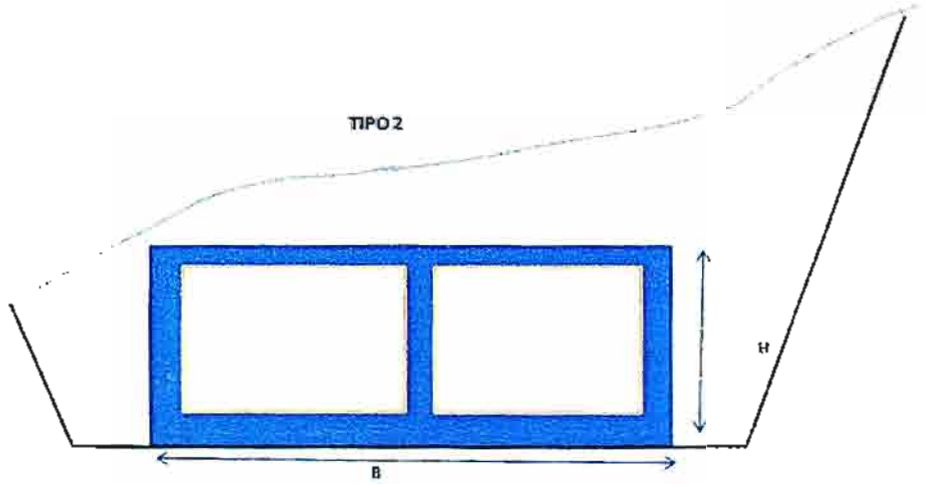


Figura N°8. Esquema Típico de Sección de Corte (Tipo 2)

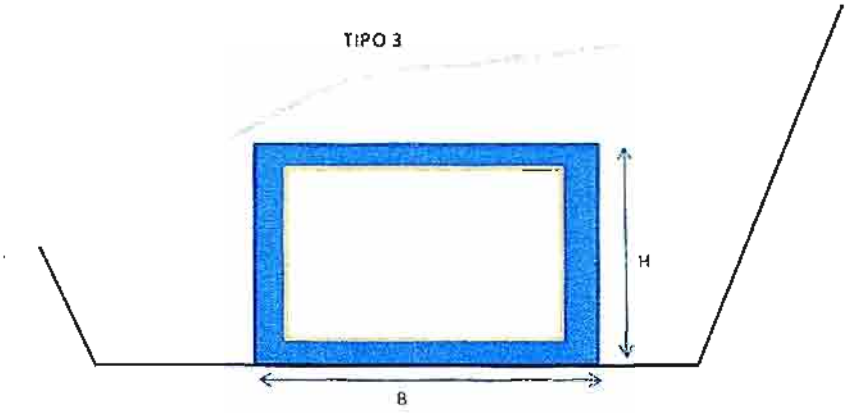


Figura N°9. Esquema Típico de Sección de Corte (Tipo 3)

Tabla N°4 - Dimensiones Sección Transversal

Km i	Km f	Cota i	Cota f	i	k	e	B	H	D	TIPO SECCION
(m)	(m)	(msnm)	(msnm)			(m)	(m)	(m)	(m)	
0	590	520.65	519.5	0.0019492	1	0.1	3	1.7	6.4	1
590	1100	519.5	518.38	0.0021961	1	0.1	3	1.7	6.4	1
1100	2000	518.38	516.9	0.0016444	1	0.1	4	1.7	7.4	1
2000	2900	516.9	515.384	0.0016844	1	0.1	4	1.9	7.8	1
2900	3800	515.384	514.75	0.0007044	1	0.1	4	1.9	7.8	1
3800	5200	514.75	513.2	0.0011071	1	0.1	4	1.6	7.2	1
5200	5516	513.2	512.806	0.0012468	1	0.1	4	1.5	7	1
5516	5675	512.806	512.254	0.0034717	0		tunel			
5675	6000	512.254	511.66	0.0018277	1	0.1	3	1.5	6	1
6000	7200	511.66	509.75	0.0015917	1	0.1	3	1.7	6.4	1
7200	8130	509.75	508.5	0.0013441	1	0.1	3	1.7	6.4	1
8130	8900	508.5	507.77	0.0009481	1	0.1	3	1.75	6.5	1
8900	11000	507.77	504.09	0.0017524	1	0.1	3	1.6	6.2	1
11000	12200	504.09	502.3	0.0014917	1	0.1	3	1.6	6.2	1
12200	13200	502.3	500.8	0.0015000	1	0.1	3	1.6	6.2	1
13200	13700	500.8	500.0333	0.0015333	1	0.1	3	2	7	1
13700	14400	500.033	498.96	0.0015333	0	0.25	4	2		2
14400	15800	498.96	497.57	0.0009929	0	0.25	4	2		2
15800	16000	497.57	497.4	0.0008500	0		túnel			
16000	16150	497.4	497.265	0.0009000	0	0.3	5	2		2
16150	17068	497.265	496.438	0.0009009	0	0.2	2	2		3
17068	17615	496.438	496.313	0.0002285	0	0.2	2	2		3

2 SANEAMIENTO DE QUEBRADAS QUE CRUZAN EL CANAL MATRIZ

Debido a que el canal esta excavado en ladera, lo cruzan una serie de cursos de aguas o quebradas que en invierno al descargar sus aguas al canal pueden socavar los bordes, por lo tanto el proyecto de canal incluye las obras que permitan descargar los caudales de las quebradas en invierno con seguridad de no vulnerar estructuralmente el canal.

En la etapa 2 del estudio se calcularon los caudales en crecidas de las quebradas que descargan al canal para T = 20 años, con lo cual en función del caudal de descarga se prediseñaron 3 tipos distintos de descarga, las cuales se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla N°5 – Ubicación y tipo de descarga a utilizar en el canal

Codificación	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Kilometraje (m)	CAUDAL (m3/s) T = 20 años	TIPO DE OBRA
Q_1	318,119	6,372,458	14,815	0,59	3
Q_2	318,624	6,372,551	14,260	1,26	1
Q_3	318,768	6,372,569	14,110	0,64	3
Q_4	319,22	6,372,513	13,550	1,62	1
Q_5	319,563	6,372,324	13,200	5,16	2
Q_6	319,598	6,372,234	13,100	1,3	1
Q_7	319,646	6,372,110	13,000	0,71	3
Q_8	319,602	6,371,971	12,860	0,44	3
Q_9	320,026	6,371,690	12,680	0,16	3
Q_10	320,444	6,371,544	11,040	1,61	1
Q_11	321,052	6,371,819	9,570	0,33	3
Q_12	326,740	6,373,545	1,45	0,2	3
Q_13	326,740	6,373,545	1,255	0,2	3

La descarga tipo 1 es para caudales intermedios mayores a 1 m3/s y menores que 2 m3/s; el tipo 2 es para caudales mayores a 2 m3/s y la tipo 3 es utilizada para caudales menores a 1 m3/s.

ANEXO 7-8

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO CANAL ABAJO DE CATEMU

PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCION RIO ACONCAGUA

ANEXO 7-8

MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO
DISEÑO CANAL ABAJO CATEMU
AGUAS ABAJO ENTREGA DE MCH

REVISIÓN A

23.01.12

FEBRERO 2011

INFORME DESARROLLADO POR:

CALCULADO POR:	DAVID ARACENA
REVISADO POR:	

REVISIONES

REVISION	TIPO DE CAMBIO	FECHA
B	Ajuste de Altura de la Obra	16-02-2012

1 DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1 Definición de Canales y Trazados

En función de lo solicitado por los regantes se procede a mejorar un tramo del canal Catemu Abajo desde la descarga del canal Unificado en el km 16,1 en un tramo equivalente a 1700 m; en este sector se observan reiterados derrumbes de material que producen serias obstrucciones en el canal. Como solución a este problema se procedió a abovedar el tramo en cuestión para asi evitar definitivamente los problemas de inestabilidad de talud.

La siguiente Figura muestra el trazado del canal Abajo de Catemu a ser abovedado

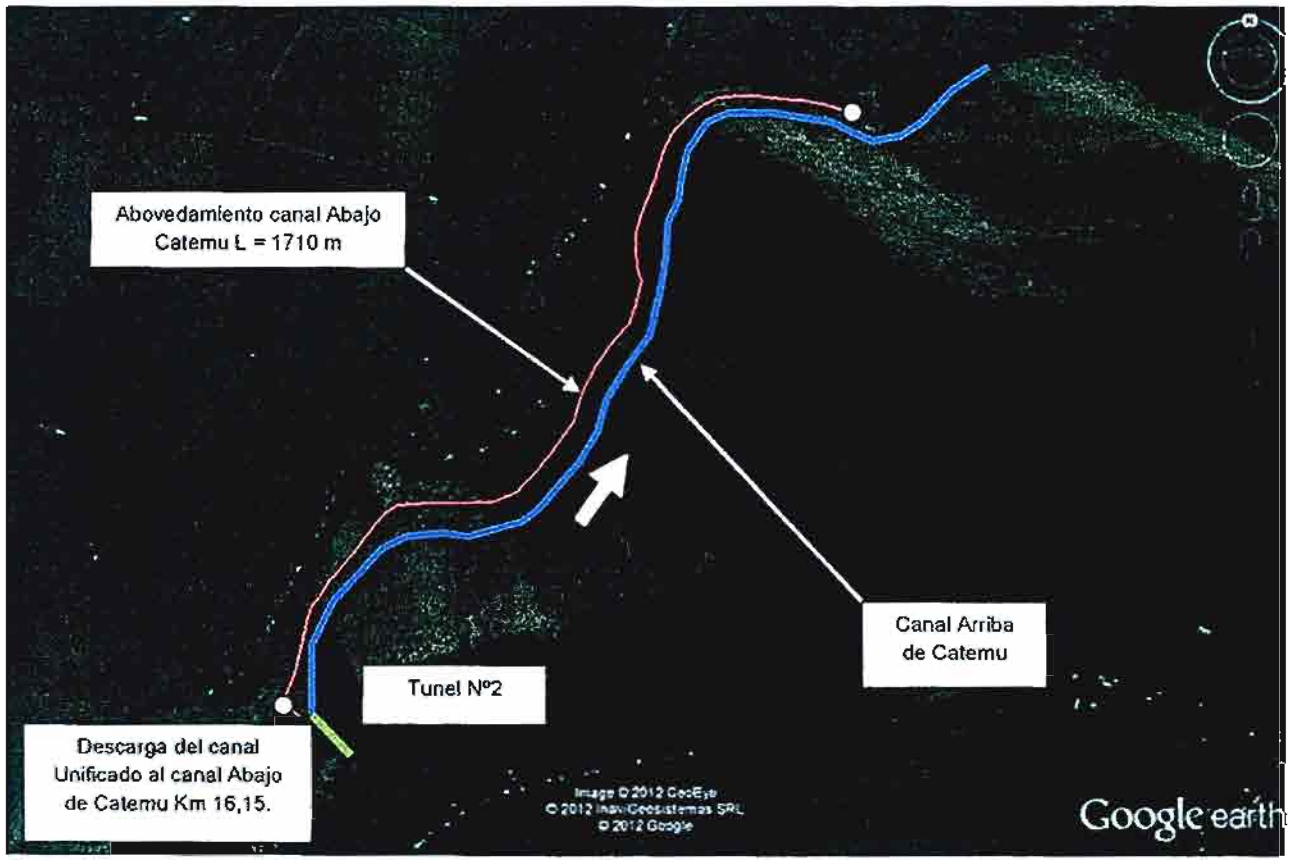


Figura N°1. Trazado Canal Abajo de Catemu con proyecto.

Caudales de Diseño

Los derechos a transportar por el canal Abajo de Catemu corresponden a los necesarios según el modelo operacional del sistema de riego, en dicho modelo se estimó que el caudal a portear corresponderá a 2.5 m3/s, esto debido a que pese a que el modelo arroja que se necesitan 1,53 m3/s equivalente a las necesidades hídricas de los cultivos para el canal Abajo Catemu, que serán entregados del unificado, se estima que por el canal existente aguas arriba de la entrega podrían llegar a pasar 1,0 m3/s que sumado con al entrega del matriz totalizan 2.5 m3/s.

1.2 Diseño Hidráulico de Canales

1.2.1 Criterios de Diseño Hidráulico

Para el diseño hidráulico de canales, se siguieron los lineamientos presentados en las bases de diseño hidráulico presentadas en los capitulos del informe A continuación se mencionan algunos de los aspectos más relevantes considerados para el diseño de canales en dicho documento.

Revestimientos

Se determinó que el canal debe ser revestido debido a la longitud del tramo de canal a mejorar.

Rugosidades

El coeficiente de rugosidad de Manning adoptado para el diseño, corresponde a n = 0,013 para los canales revestidos de hormigón. Para los revestimientos en mampostería en piedra se adopta un n= 0,025.

Revanchas

El criterio de revanchas adoptado, corresponde a un mínimo de 15% de la altura de agua para el caudal de diseño ó 20 cm, y una revancha máxima de 50 cm.

Velocidades Admisibles

El criterio de velocidades mínimas admisibles adoptado en canales para asegurar que no se produzca sedimentación corresponde a 0,6 m/s.

1.2.2 Dimensionamiento de las Secciones

El dimensionamiento de las secciones transversales y la pendiente longitudinal de cada tramo de canal se determinó buscando satisfacer bajo condiciones idóneas de escurrimiento las cotas de entrega definidas y a la vez seleccionar aquellas dimensiones que permitan conseguir una economía en los costos de construcción.

Se considera por inestabilidad del borde el abovedamiento de la sección del canal, para lo cual en el tramo una sección tipo cajón simple recomendada del manual de carreteras en su vol.4 de B=2m x H=1.5 m (figura 2).

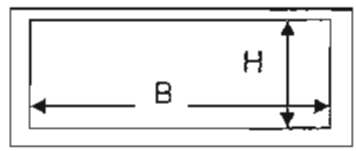


Figura N°2. Esquema Típico de Sección Cajón

La altura H se determinó con la altura normal de la sección. Con los antecedentes de dimensionamiento hidráulico se realizó el dimensionamiento de cada tramo de canal, según los criterios de revancha mencionados anteriormente. En la tabla N°1 se indica el detalle de los resultados.

Tabla N°1 – Resultados del Dimensionamiento Hidráulico

Canal	Kmi	Kmf	Q Dis.	b	n	n	n	z	A_{Mojada}	i	hn	Vn	Bn	hc	Vc	Bc	Bn/Bc	Rev.	H	H Adop
	m		m³/s	m	fondo	talud			m²		m	m/s	m					m	m	m
sección rectangular	0.0	578.2	2.50	2.00	0.013	0.013	0.013	0	1.77	0.00092	0.89	1.41	0.99	0.54	1.41	0.64	1.54	0.20	1.10	1.50
sección rectangular	578.2	1000.8	2.50	2.00	0.013	0.013	0.013	0	1.86	0.00080	0.93	1.34	1.02	0.54	1.34	0.63	1.61	0.20	1.15	1.50
sección rectangular	1000.8	1515.0	2.50	2.00	0.013	0.013	0.013	0	1.82	0.00086	0.91	1.38	1.01	0.54	1.38	0.64	1.57	0.20	1.15	1.50
sección rectangular	1515.0	1711.1	2.50	2.00	0.013	0.013	0.013	0	1.71	0.00101	0.85	1.46	0.96	0.54	1.46	0.65	1.48	0.20	1.10	1.50

Hadop = Altura del Muro adoptado.
H = Altura del muro según criterios DOH

1.2.3 Corte y Relleno de la Sección Transversal

En el trazado de canales considera la implementación de un camino de acceso paralelo al eje del canal, cuyo ancho debe ser aproximadamente equivalente al ancho total de la sección del canal en planta. En este caso como la sección será abovedada la sección rellenada tendrá las siguientes características, según la figura N°3.

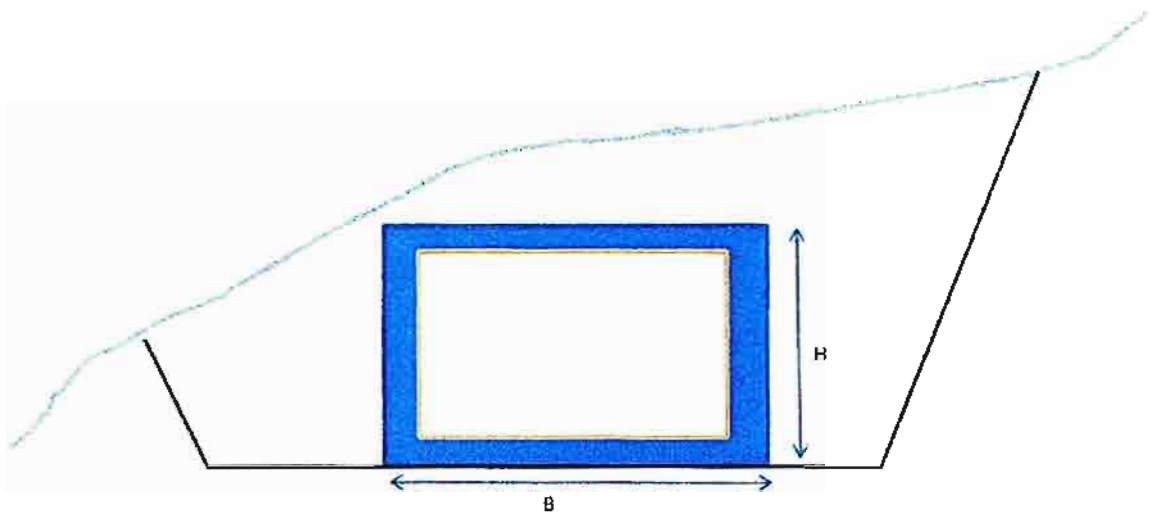


Figura N°3. Esquema Tipico de Sección de Corte

Tabla N°2 - Dimensiones Sección Transversal

Km i	Km f	Cota i	Cota f	i	k	e	B	H
(m)	(m)	(msnm)	(msnm)			(m)	(m)	(m)
0	578	468.17	467.639	0.00091841	0	0.25	2	1.5
578	1000	467.639	467.299	0.00080446	0	0.25	2	1.5
1000	1515	467.299	466.857	0.00085961	0	0.25	2	1.5
1515	1711	466.857	466.658	0.00101465	0	0.25	2	1.5

ANEXO 7-9

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO BOCATOMA, COMPUERTA DE ADMISIÓN Y DESCARGA

PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCION RIO ACONCAGUA

ANEXO 7-9

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO
BOCATOMA UNIFICADA

REVISIÓN A

23.01.12

FEBRERO 2011

INFORME DESARROLLADO POR:

CALCULADO POR:	DAVID ARACENA
REVISADO POR:	

REVISIONES

REVISION	TIPO DE CAMBIO	FECHA

1. INTRODUCCIÓN

La presente Memoria corresponde a la descripción y cálculo hidráulico de la obra de admisión y devolución al rio Aconcagua del canal Matriz Unificado Catemu, que alimentará a los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino. A continuación se muestra la ubicación de la obra:

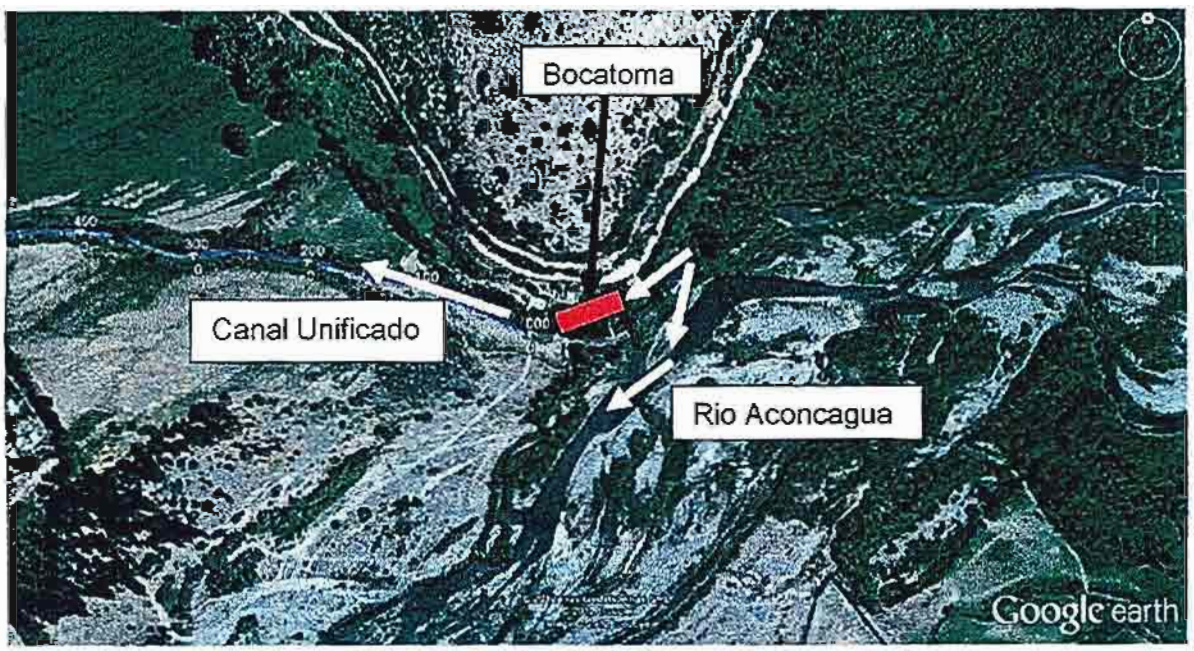


Figura N°1 – Ubicación de la Bocatoma Proyectada

La obra corresponde a una captación lateral sin intervención permanente del cauce del río, esto es la barrera será temporal de materialización año a año. Esto debido a que por lo caudales invernales resulta muy costoso construir grandes obras en el rio para soportar las velocidades y caudal en invierno.

Por lo tanto la cota del EH en la zona de la toma debe darse, mediante la implantación de una barrera de rellenos granulares de operación durante el periodo de riego, como se hace actualmente.

Además el canal cuenta con una manga de aducción existente, que corresponde a un canalón en tierra reforzado por el lado que da hacia el rio, la idea de este canalón es acortar la barrera provisional, adema de servir en tiempos de crecidas primaverales como vertedero de excesos.

La obra de admisión en si se compone de un desripiador, compuerta de descarga compuerta de admisión. El desriapiador es una obra que tiene la misión de retener y

evacuar a través de las compuertas de descarga el sedimento grueso que pueda entrar hacia el canal esta obra tiene un largo de 13 m y un ancho de 6 m.

Además se cuanta con una compuerta de admisión que tiene 3 compuertas de 1,20 m de ancho y 1,20 m de alto, dispuestas en un umbral de 1,0 m sobre el lecho del canalón de entrada. A la salida de las compuertas se proyecta un rápido de ingreso de sección rectangular de 5 m de ancho y pendiente de 5% que lleva el agua hasta una sección rectangular de 5 m de ancho y pendiente de 0,0016. En este tramo se ha dispuesto la instalación de una obra de aforo con barrera triangular en el rio y finalmente una transición recta con ajuste de anchos basales para empalmar a la sección del canal Matriz.

En el numeral 3 de este informe se presenta el cálculo de la obra de ingreso para el escenario y admisión del canal Matriz, en la condición de carga mínima para el caudal máximo. Para determinar la cota de la poza en la toma, se calculan las pérdidas de carga existentes entre la toma y el inicio de la obra de admisión pos compuertas. Estas pérdidas singulares son los machones de las compuertas.

Además se presenta el diseño hidráulico de la obra de aforo, la que se compone básicamente de una barrera triangular en el canal que provoca escurrimiento crítico, que es la mejor condición para la medición de caudal. Para este diseño se siguió el procedimiento indicado en el texto "Hidráulica" de F. J. Domínguez.

2. ESTUDIOS BÁSICOS

2.1 EJE HIDRÁULICO EN RIO ACONCAGUA

Los caudales en crecida del rio Aconcagua en el sector de la bocatoma se generaron en el estudio Hidrológico que fue incluido en la etapa 3 del proyecto presentado, en dicho sector fueron determinados los caudales de crecidas según períodos de retorno, los resultados del estudio hidrológico son los resumidos en la siguiente tabla:

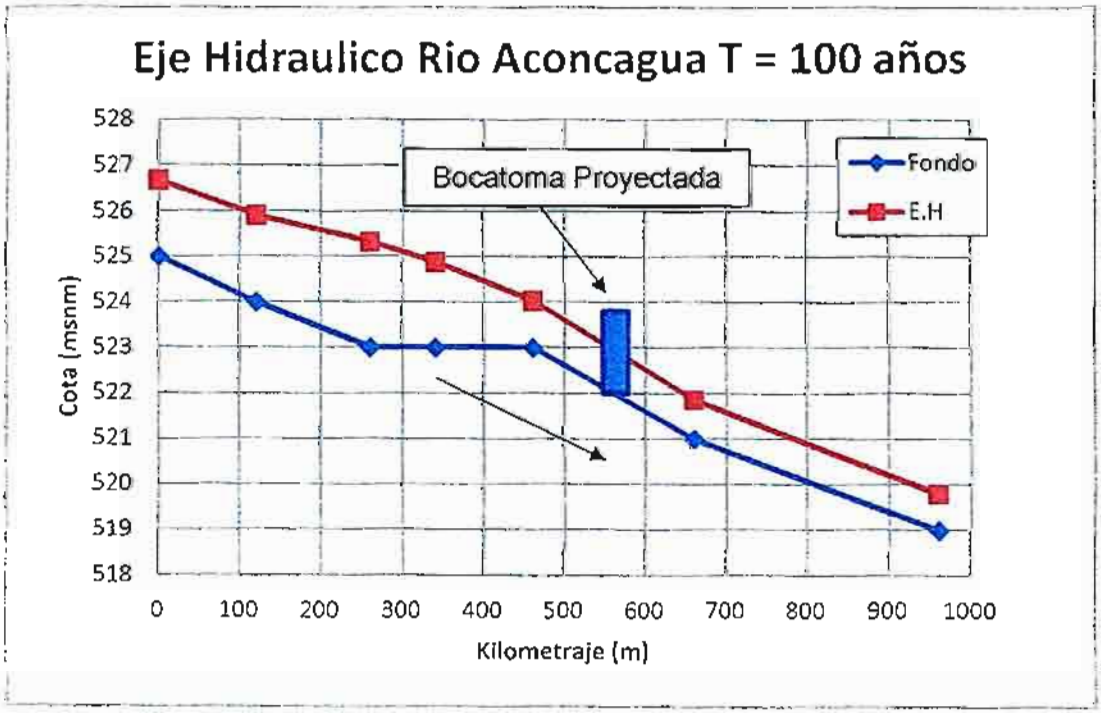
Tabla Nº1 – Caudales en Crecida Rio Aconcagua en sector de bocatoma

T (años)	Q (m^3/s)
2	182
5	354
10	496
25	710
50	893
100	1096

Con apoyo en la restitución del sector 1:10.000 se generaron siete perfiles transversales del rio Aconcagua en el sector de la bocatoma con lo que se pudo construir un modelo hidráulico del tramo con el programa HEC RAS, con la finalidad de obtener las alturas de aguas en el rio en el tramo de la bocatoma para un periodo de retorno de 100 años, a continuación en la Tabla N°2 se muestran los resultados del eje hidráulico:

Tabla N°2 – Eje Hidráulico Rio Aconcagua en sector de bocatoma

Q Total	RS	Km	Fondo	E.H T=100	E.H.	Hc	E	J	Vm	A	L	Fr
(m3/s)			(m)	(msnm)	(m)	(msnm)	(msnm)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1096	7	0	525	526.68	1.68	526.64	527.17	0.009071	3.12	352.93	329.64	0.96
1096	6	120	524	525.92	1.92		526.2	0.004005	2.36	471.12	361.26	0.66
1096	5	260	523	525.33	2.33		525.66	0.006059	2.54	433.36	376.43	0.78
1096	4	340	523	524.88	1.88		525.24	0.006089	2.69	417	362.77	0.8
1096	3	460	523	524.04	1.04	523.94	524.25	0.007522	2.05	540.09	830.06	0.81
1096	2	660	521	521.87	0.87	521.78	522.1	0.007783	2.21	529.84	799.29	0.83
1096	1	960	519	519.8	0.8	519.67	520	0.00706	2.15	567.7	811.22	0.8

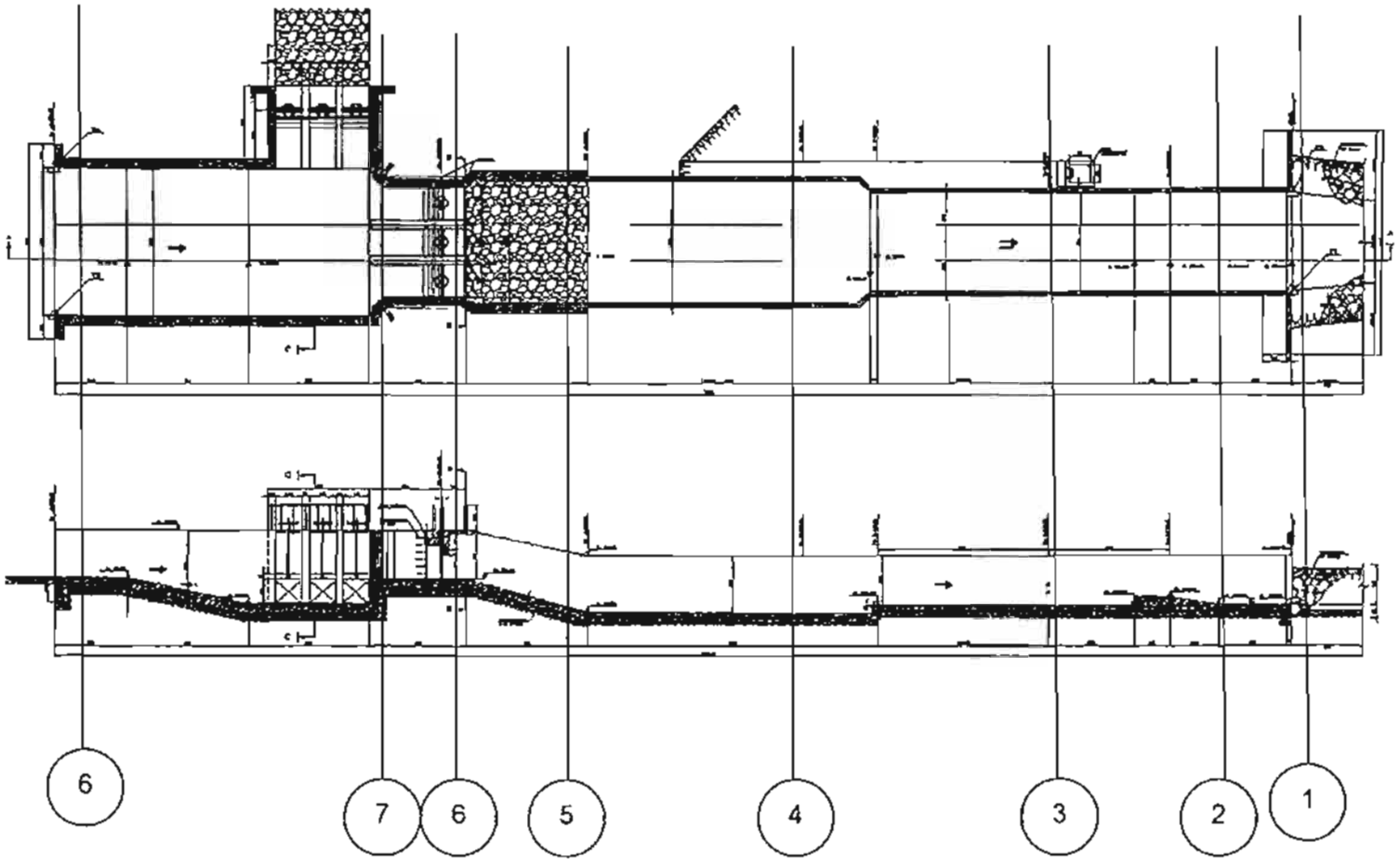


El eje hidráulico del rio Aconcagua se encuentra desarrollado en la Etapa 2, el nivel del eje hidráulico en la locación de la obra de admisión, permite determinar la cota de coronamiento de la obra, en este caso 524 msnm, dando así una seguridad ante el evento de crecida de T=100años. Esto implica además que las obras de defensas fluviales, antes y después de la obra de admisión, deben al menos fijar como coronamiento al menos esa cota.

3. CÁLCULO DE LA OBRA DE CAPTACIÓN

A continuación se presenta el cálculo sistemático de la obra de toma de aguas abajo hacia aguas arriba, o sea desde la conexión con el canal Unificado, hasta la poza de la captación. El cálculo se realiza para el caudal de diseño de la obra, 13 m^3/s.

En el siguiente esquema de la obra, se indican los puntos de cálculo:



Calculo en la Sección 1:

El canal matriz aguas debajo de la obra presenta un escurrimiento subcritico con una sección trapecial según las siguientes características, dadas por el eje hidráulico

h = 1.42 m
v = 1.6 m/s
B = 1.545 m

Calculo en la Sección 2:

El canal pasa a una sección rectangular de h.a. de de 4 m de ancho, se considera una transición de tipo rectangular a trapezoidal con un coeficiente de pérdida de 0,3 veces la perdida de altura de velocidad. Igualando energía entre la sección 1 y 2 se obtiene:

h = 1.397 m
v = 1.79 m/s
B = 1.56

Calculo en la Sección 3:

La sección 3 esta aguas arriba de la grada de aforo, por lo que se calculo la grada de aforo según lo recomendado por FJD en su libro de Hidráulica, los resultados son los siguientes:

Características de la obra de aforo

Ancho	Altura	Altura barrera
(m)	(m)	(m)
4	2	0.45

Cálculo de la altura de la Barrera (Fig.1)

Q = 13.8 m3/s

hc	h1	X1=h1/hc	K	amin	a adop
1.07	1.40	1.31	0.40	0.43	0.45

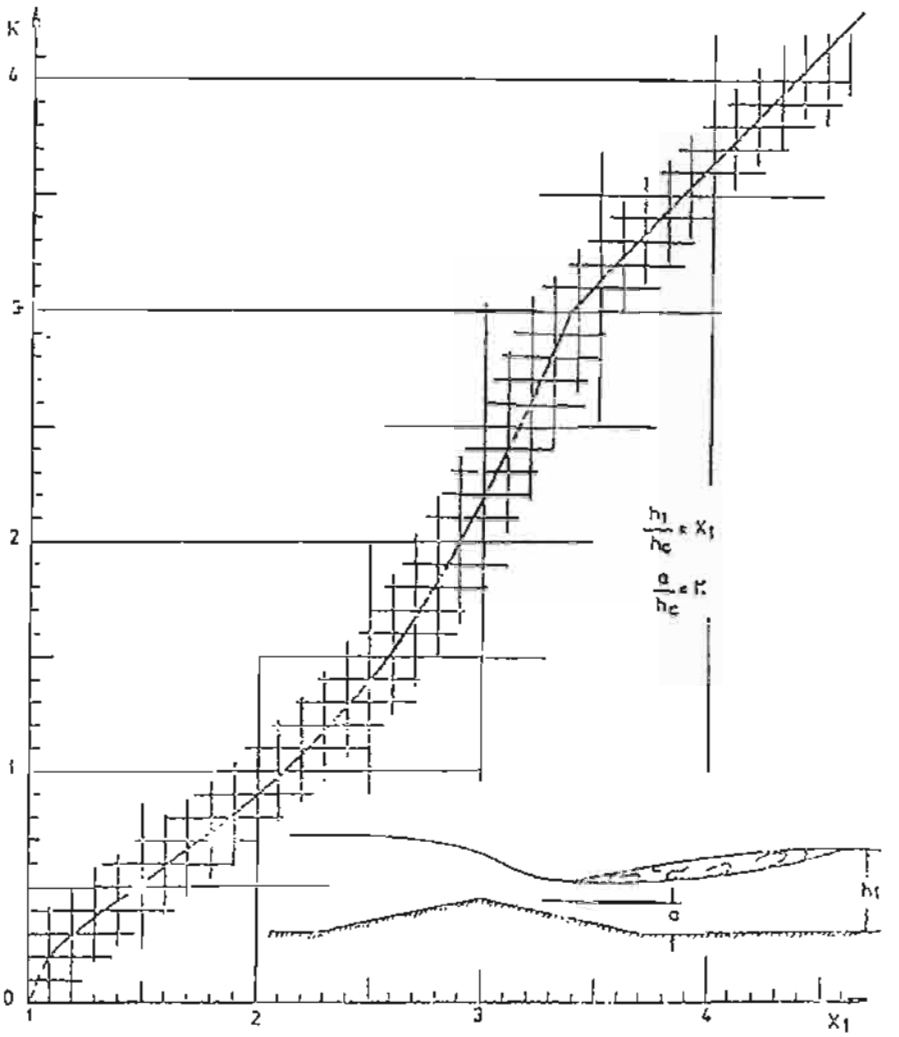


Fig.1 – Calculo de la grada

Además se calcula el peralte de aguas arriba de la grada, obteniendo:

K = a/hc	0.42 (Fig.2)	
n =	1	
m =	0.446	
Q =	13.78	m3/s
h =	1.45	m
H = h+a	1.9	m

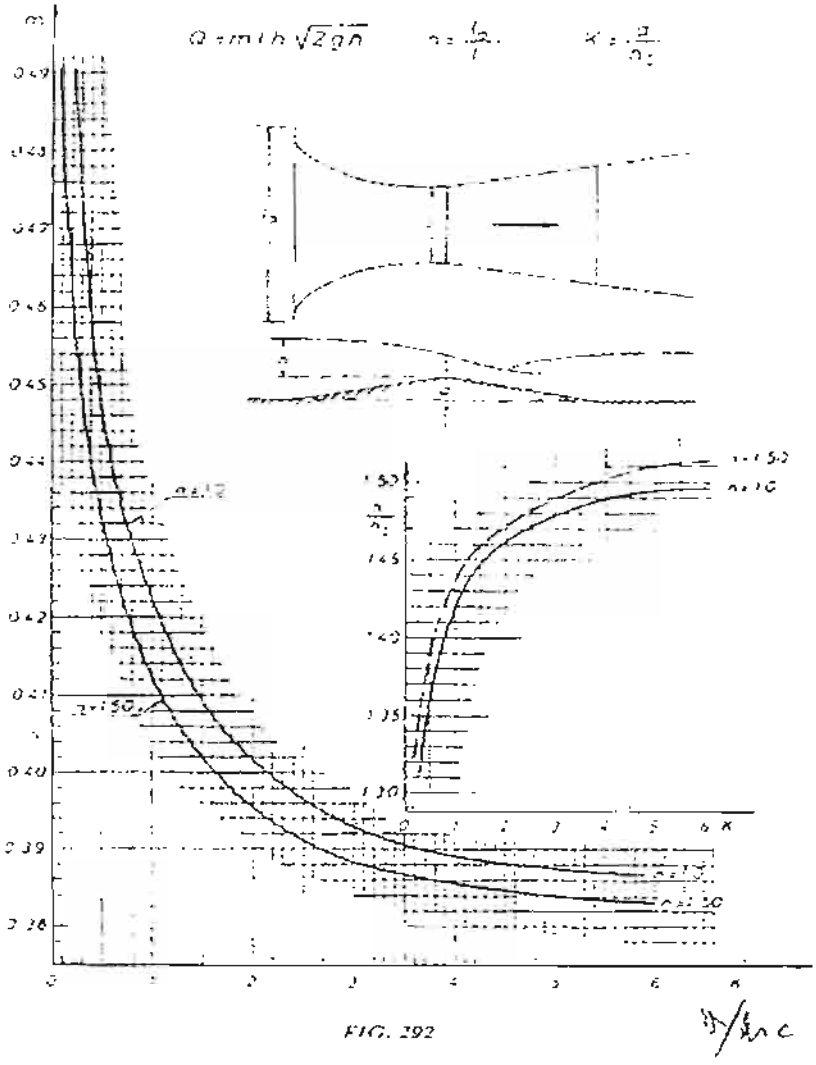


Fig.2 – Calculo del coeficiente m para cálculo del remanso h sobre la grada

Por lo tanto la altura en la sección 3 es de 1,9 m.

Calculo en la sección 4, 5 y 6:

En la sección 6 aguas abajo de la compuerta se produce un flujo supercritico que descarga en un canal con una pendiente que produce un torrente en la sección 5 que al llegar a una sección con pendiente cero produce un resalto, por lo tanto en la sección 4 se genera la altura conjugada del resalto, según lo anterior se presenta a continuación el siguiente esquema:

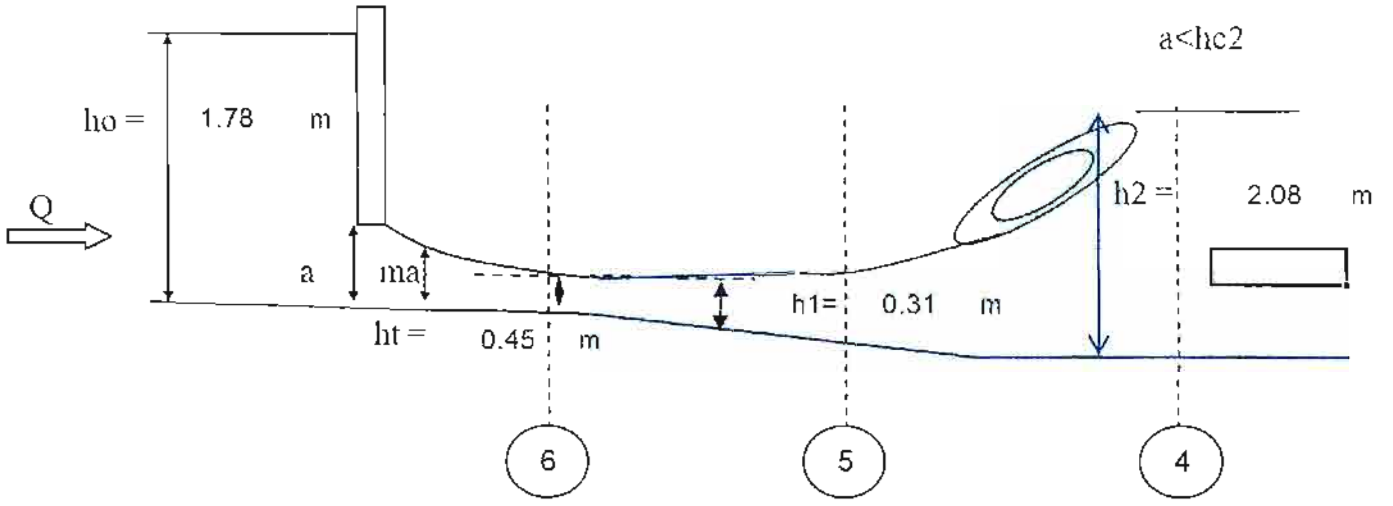


Fig.3 – Esquema de cálculo de las secciones 6,5 y 4

Como existe en este tramo régimen supercritico el cálculo es de aguas arriba hacia aguas abajo :

Calculo en la sección 6

B.- ALTURA DEL ESCURRIMIENTO EN LA EXPANSION

$$ma + \frac{Q^2}{g(mab)^2} = h_t + \frac{Q^2}{2g(Bh_t)^2} \quad \Rightarrow \quad h_t = \sqrt{\frac{Q^2}{2gB^2(E_c - h_t)}} \qquad Ec = ma + \frac{Q^2}{g(mab)^2}$$

m =	0.649363	
a =	1.000	m
b =	3.6	m
Q =	13.8	m3/s
Ec =	4.205285	m
ht =	0.45	m

Calculo en la sección 5

Régimen supercritico

h = 0,31 m
hc = 0,92 m
i = 27%
b = 5 m
k = 0

Calculo en la sección 4

Altura conjugada del resalto y dimensionamiento de la cubeta disipadora

C - CALCULO DE LA ALTURA CONJUGADA DEL RESALTO

X1 = h1/hc
X2=h2/hc

$$X_1 = -\frac{X_2}{2} + \sqrt{\frac{X_2^{\,2}}{4} + \frac{2}{X_2}}$$

X2 =	0.34	
h1 =	0.31	m
hc =	0.92	m
X1 =	2.26	
h2 =	2.08	m

h_c es la altura crítica en el canal

h_2 es la altura conjugada del resalto de torrente.

h_1 es la altura del torrente

D.- UBICACIÓN DEL RESALTO

ubicación: **resalto rechazado aguas abajo de la expasión**

E.- LARGO DEL RESALTO

ht =	0.31	m
hc =	0.92	m
lr =	10.31	m

$$l_r = (18 - 20\frac{h_1}{h_{c2}})h_{c2}$$

Finamente como la altura h4 = 2,08 m es mayor a la altura aguas abajo h3 = 1,9 m se hace necesario confinar el resalto, para ello al final de la cubeta disipadora se colocará una grada de subida de a = 0,3 m tal que h4 = 2.08 m < h3+a = 2.2 m

Calculo en la sección 7

La sección 7 corresponde aguas arriba de las compuertas, esta altura se calculo suponiendo las compuertas totalmente abiertas, por lo tanto la capacidad máxima de ingreso será 13,8 m3/s, además dicha altura se calculo suponiendo una descarga libre, esto debido a que si las compuertas trabajan ahogadas se acumula basura u sedimento disminuyendo la vida útil de la obra. El cálculo de la altura h7 procedió como sigue:

CALCULO DE COMPUERTA FRONTAL INGRESO CANAL CATEMU UNIFICADO

$$Q = mab\sqrt{2gh}$$

$$Q = Cba\sqrt{2gh_0}$$

$$Q = mba\sqrt{2g(E_0 - ma)}$$

$$m = \frac{C^2}{2n} + \sqrt{\frac{C^4}{4n^2} + C^2}$$

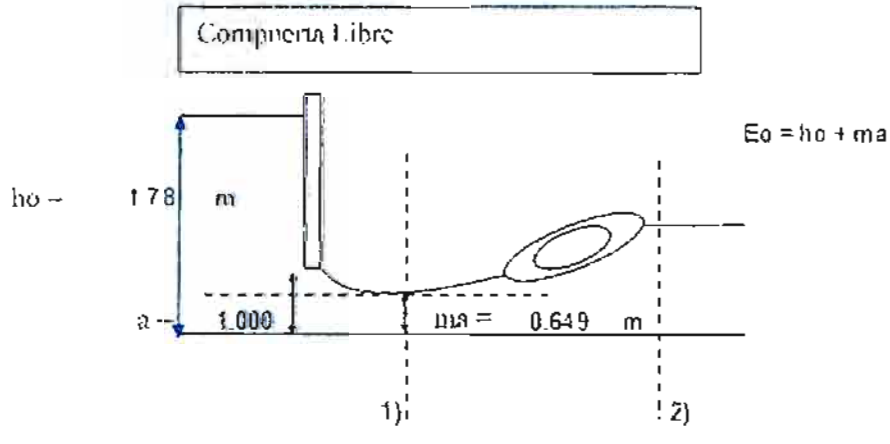
$$n = \frac{h_0}{a}$$

$$C = 0.54265\left(\frac{h_0}{a}\right)^{0.5177}$$

Q = m*a*b*raiz(2*g*h)
Q =C*a*b*raiz(2*g*h)
Q = m*a*b*raiz(2*g*(Eo-ma))

Q =	13.8	m3/s	Q/Q* =	0.999069
Q* =	13.813	m3/s		
m =	0.649			
a =	1.000	m		
b =	3.6	m		
ho =	1.78	m		
C =	0.556			
n =	1.781			

Calcula ho



Por lo tanto la altura h7 = 1,78 m aguas arriba de la compuerta para lo cual se consideraron tres compuertas cada una de 1,2 m de ancho por 1,0 m de alto.

4.- CALCULO DE LA NUEVA COTA DE LA MAGA DE ADUCCION

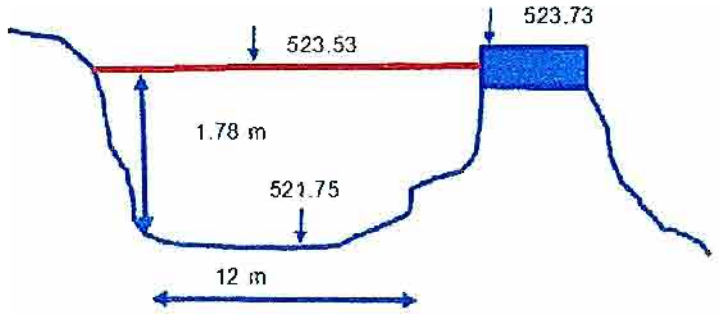
Aguas arriba de las compuertas se mejorara la manga de aducción existente en unos 100 m, la idea es peraltar dicha manga, la cota del eje hidráulico aguas arriba de las compuertas será:

Cota E.H. (Q=13 m3/s) = 523.43 m.s.n.m.

Debido a la baja pendiente que tendrá el tramo a mejorar se puede inferir que la cota del eje hidráulico hacia aguas arriba variará según la pendiente de la línea de energía J, en este caso se supondrá que esta se puede asumirse como la pendiente de fondo i, para lo cual se impone una pendiente de la maga de aducción de 0,1 %, según esto la cota del E.H. en el rio Aconcagua será:

Cota E.H. Rio Necesaria = 523.43+100*0.001 = 523.53 m.s.n.m

Por lo tanto la cota del borde superior de la maga peraltada será:



Por lo tanto en el rio Aconcagua la cota de la manga de fluvial provisional será de 523.73.

5.- COMPUERTA DE DESCARGA AL RIO

En función de la altura h7 calculada anteriormente se considera el diseño de las compuertas de descarga, dichas compuertas están 1 m más abajo que las compuertas de admisión, por lo que la carga sobre las descargas será h = h7+1,0 m = 2.78 m; con esto se calcula la sección necesaria para evacuar los 13,8 m3/s como máximo. Se considera descarga libre debido a que en época de riego la cota del eje hidráulico del rio es más baja que la cota de fondo de la descarga, por lo tanto no influencia la obra. Los cálculos se muestran a continuación:

Dimensionamiento de la sección de descarga:

CALCULO DE COMPUERTA DESCARGA AL RIO - CANAL CATEMU UNIFICADO

$$Q = m\,a\,b\,\sqrt{2gh}$$

$$Q = C\,b\,a\,\sqrt{2gh_0}$$

$$Q = m\,b\,a\,\sqrt{2g(E_0 - ma)}$$

$$m = \frac{C^2}{2n} + \sqrt{\frac{C^4}{4n^2} + C^2}$$

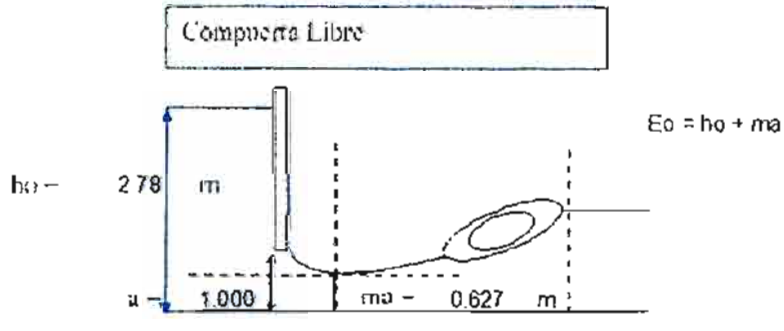
$$n = \frac{h_0}{a}$$

$$C = 0.54255\left(\frac{h_0}{c}\right)^{0.0111}$$

Q = m*a*b*raiz(2*g*h)
Q =C*a*b*raiz(2*g*h)
Q = m*a*b*raiz(2*g*(Eo-ma))

	Q =	13 8	m3/s	Q/Q* =	0 993985
	Q* =	13.884	m3/s		
	m =	0.627			
dato	a =	1 000	m		
dato	b =	3	m		
resultado	ho =	2.78	m		
	C =	0 566			
	n =	2 780			

Calcula ho



De acuerdo a esto la sección de descarga será de 1,0 m de alto por 1,0 m de ancho en tres módulos como se muestra en la siguiente figura:

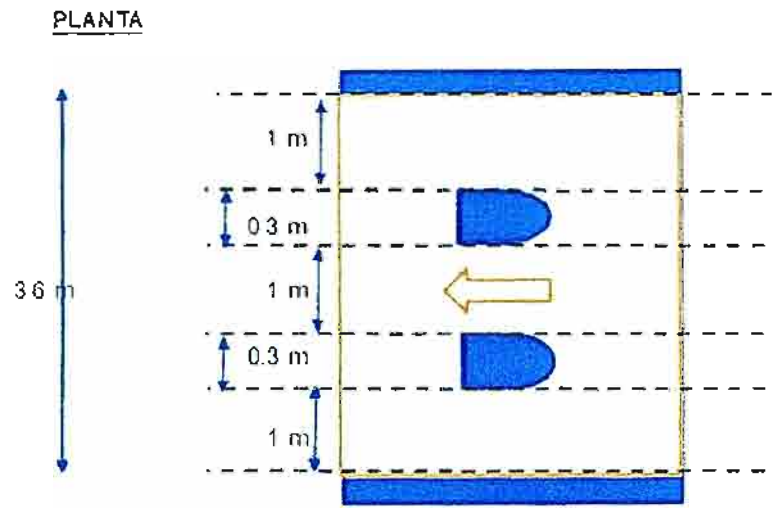


Fig. 4 – Dimensionamiento de sección de las compuertas de descarga

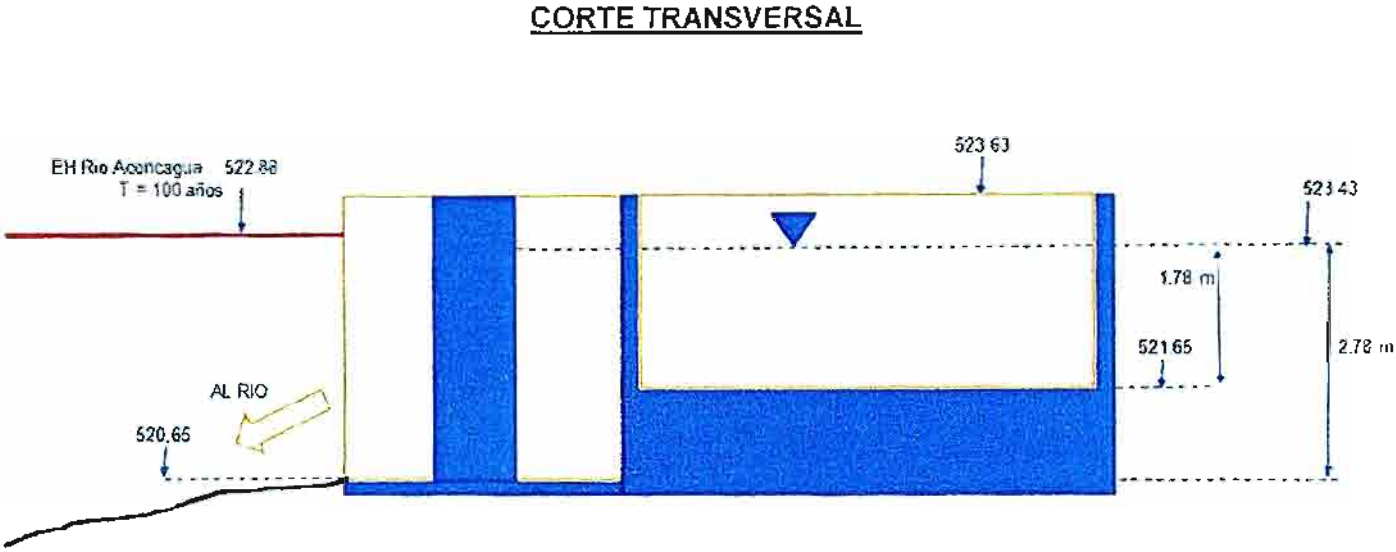


Fig.5 – Corte Transversal de cotas y dimensiones.

Finalmente aguas debajo de la compuerta se produce un régimen torrencial que desemboca en el rio, de todas formas se considera revestir aguas debajo de la descarga unos 10 m.

ANEXO 7-10

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO
DESCARGA A RIO ACONCAGUA KM 5,51
CANAL MATRIZ

PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCION RIO ACONCAGUA

ANEXO 7-10

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO
DESCARGA A RIO ACONCAGUA KM 5,51 CANAL MATRIZ

REVISIÓN A

31.01.12

FEBRERO 2011

INFORME DESARROLLADO POR:

CALCULADO POR:	DAVID ARACENA
REVISADO POR:	

REVISIONES

REVISION	TIPO DE CAMBIO	FECHA

1. INTRODUCCIÓN

La presente Memoria corresponde a la descripción y cálculo hidráulico de la obra de descarga del canal Matriz en el km 5,51 antes de la entrada del túnel N°1, esta descarga proyectada tiene la finalidad de evacuar el agua lluvia que cae al canal en sus primeros 5 km. La ubicación de la obra se muestra a continuación:

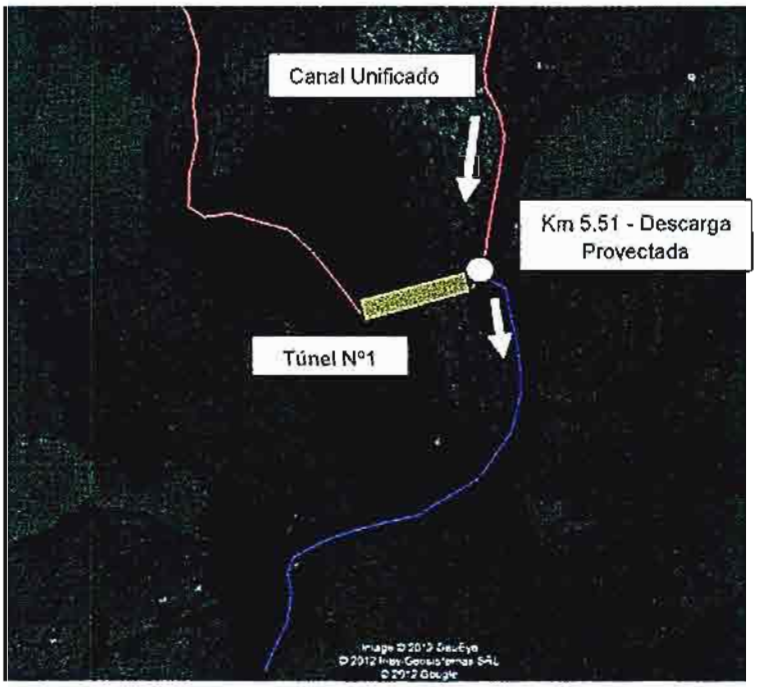


Figura N°1 – Ubicación de la Descarga Proyectada

La obra corresponde a una descarga lateral con un fondo más bajo que el canal controlada por una caja de compuertas, para luego conectar con un rápido de descarga con una piscina disipadora, en este caso la caída por el cerro tiene doble pendiente por lq se consideraron dos rápidos de descarga, el ultimo desemboca en un canal de descarga que llega al rio Aconcagua.

El diseño hidráulico de la compuerta de descarga, rápido y cubeta disipadora obedecen a criterios recomendados por el texto "Hidráulica" de F. J. Domínguez y el texto diseño de obras hidráulicas de H. Mery.

2.- DISEÑO DE LA COMPUERTA DE DESCARGA AL RIO

En función de la altura h del canal según el E.H. en el km 5,51 se considera el diseño de las compuertas de descarga, dichas compuertas están 0,6 m más abajo que el fondo del canal, por lo que la carga sobre las compuertas de descarga será h = 1,1+0,6 m = 1,7 m; con esto se calcula la sección necesaria para evacuar los 6 m3/s como máximo que es el caudal que se genera por concepto de aguas lluvias en las cuencas que descargan en los primeros 5 km de canal. Se considera descarga libre debido a que el canal esta en ladera y el canal de descarga siempre tendrá flujo supercritico, por lo tanto no influencia la obra. Los cálculos se muestran a continuación:

Dimensionamiento de la sección de descarga:

CALCULO DE COMPUERTA DESCARGA AL RIO KM 5510 - CANAL CATEMU UNIFICADO

$$Q = mab\sqrt{2gh}$$

$$Q = Cba\sqrt{2gh_0}$$

$$Q = mba\sqrt{2g(E_0 - ma)}$$

$$m = \frac{C^2}{2n} + \sqrt{\frac{C^4}{4n^2} + C^2}$$

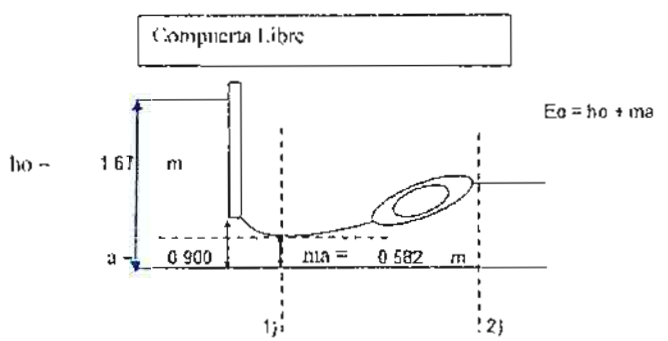
$$n = \frac{h_0}{a}$$

$$C = 0.54265\left(\frac{h_0}{a}\right)^{0.04177}$$

Q = m*a*b*raiz(2*g*h)
Q =C*a*b*raiz(2*g*h)
Q = m*a*b*raiz(2*g*(Eo-ma))

	Q =	6	m3/s	Q/Q' = 0.99997
	Q' =	6.000	m3/s	
	m =	0.646		
dato	a =	0.900	m	
dato	b =	1.8	m	
resultado	ho =	1.67	m	
	C =	0.557		
	n =	1.861		

Calcula ho



De acuerdo a esto la sección de descarga será de 0,9 m de alto por 0,9 m de ancho en dos módulos como se muestra en la siguiente figura:

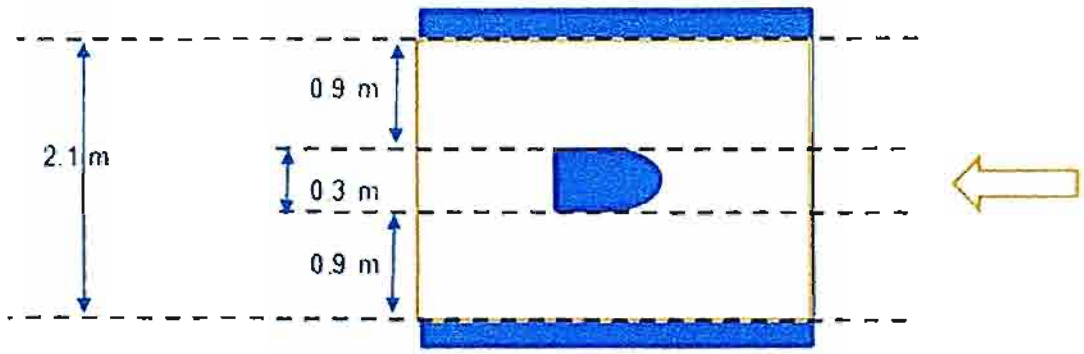
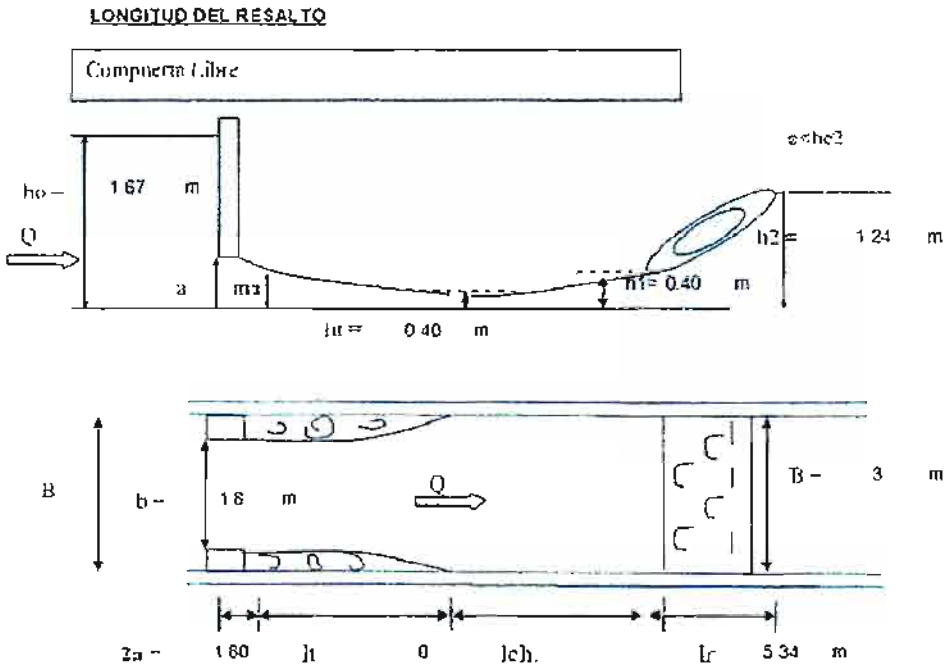


Fig. 4 – Dimensionamiento de sección de las compuertas de descarga

Finalmente aguas abajo de la compuerta se produce un régimen torrencial el cual al enfrentarse a una pendiente muy baja tendera a producirse un resalto y alcanzar la altura conjugada de la altura de torrente ht; esta altura conjugada del torrente resulta ser de 1,24 m y se produce a 5 m aguas abajo de las compuertas, a esa distancia se dispone de una grada la cual tiene la finalidad de producir altura critica en la sección que corresponderá a los 1,24 m, asi se logra controlar el resalto y confinarlo. Esto se muestra en el siguiente esquema:



A.- EXPANSIÓN DEL FLUJO AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA

Cálculo de l_t: este tipo de chorro se expande con un ángulo $\alpha \approx 10°$, así se tiene:

$$\tan\alpha = \frac{B-b}{2l} \quad \Rightarrow \quad l = \frac{B-b}{2\tan\alpha} \quad \Rightarrow \quad l \approx 2,8(B-b)$$

lt = 0 m B = 1.8 m

B.- ALTURA DEL ESCURRIMIENTO EN LA EXPANSION

$$ma + \frac{Q^2}{g(mab)^2} = h_t + \frac{Q^2}{2g(Bh_t)^2} \quad \Rightarrow \quad h = \sqrt{\frac{Q^2}{2gB^2(E_c - h_t)}} \qquad E_c = ma + \frac{Q^2}{g(mab)^2}$$

m = 0.646443
a = 0.900 m
b = 1.8 m
Q = 6 m3/s
Ec = 3.931348 m
ht = 0.40 m

ht' = 0.400694

ht'-ht = 0.000167

C.- CALCULO DE LA ALTURA CONJUGADA DEL RESALTO

X1 = h1/hc
X2=h2/hc

$$X_1 = -\frac{X_2}{2} + \sqrt{\frac{X_2^2}{4} + \frac{2}{X_2}}$$

h_c es la altura crítica en el canal

h_1 es la altura conjugada del resalto de torrente

h_2 es la altura del escurrimiento aguas abajo de la obra

X2 = 0.54
h1 = 0.40 m
hc = 0.74 m
X1 = 1.67
h2 = 1.24 m

D.- UBICACIÓN DEL RESALTO

ubicación: **resalto rechazado aguas abajo de la expasión**

E.- LARGO DEL RESALTO

$$l = (18 - 20\frac{h_c}{h_2})h_2$$

ht = 0.40 m
hc = 0.74 m
lr = 5.34 m

2.- DISEÑO DEL RAPIDO Y CUBETA DISIPADORA

El caudal de 6 m3/s prosigue aguas abajo de las compuertas como ya fue dicho donde se topa con una grada que produce escurrimiento crítico, desde ese punto se conecta con un rápido Nº1 de conducción de 20 m de largo y una pendiente de 75,4% las características del escurrimiento en la sección son las siguientes:

CALCULO DE LA ALTURA NORMAL Y CRITICA EN EL RAPIDO

Hn (m) =	**0.19**	**RUG. n =**	**0.025**	**K =**	**0.00**
Hc (m) =	**0.74**	**PEND. i =**	**0.72654253**	**b (m) =**	**3.00**

VEL =	10.53	m/s
FR =	7.71	
REV =	0.82	m

De acuerdo a esto la sección deberá tener un ancho de 3 m, con fondo en mampostería en piedra y una altura de 1 m de acuerdo a lo recomendado por H. Mery según la siguiente ecuación para flujos torrenciales:

El USBR recomienda en estos canales dejar un resguardo amplio y recomienda la siguiente expresión:

$$R_{rev} = 0.60 + 0.037 \cdot v \cdot \sqrt[3]{h} \quad [\text{m}] \qquad (103)$$

Donde v es la velocidad del fujo y h la altura del escurrimiento, según lo anterior, la sección propuesta para el rápido será:

h = 1.00 m

3.00 m

La piscina disipadora se calcula según las recomendaciones del H. Mery según lo siguiente:

Se denomina $Y = \frac{h_2}{h_1}$ y $A = \frac{a}{h_1}$, la relación (117) se transforma en la siguiente:

$$F_1^2 = \frac{Y \times (Y^2 + 2 \times A \times Y + 2 \times A^2 - 1)}{2 \times (Y - 1)} \qquad (118)$$

Para verificar si se genera el resalto aguas arriba de la grada puede aplicarse la ecuación (118). Si el F_1 calculado es mayor que el N° de Froude del torrente, significa que la grada junto con la altura h_2 es capaz de controlar un resalto más potente e inmediatamente aguas arriba de la grada se daría una altura de agua que ahogaría al torrente de aguas arriba. Si el F_1 calculado es menor que el N° de Froude del torrente, se produce el caso (b) de la figura 2.79, el torrente choca con la grada y se encarama sobre ella.

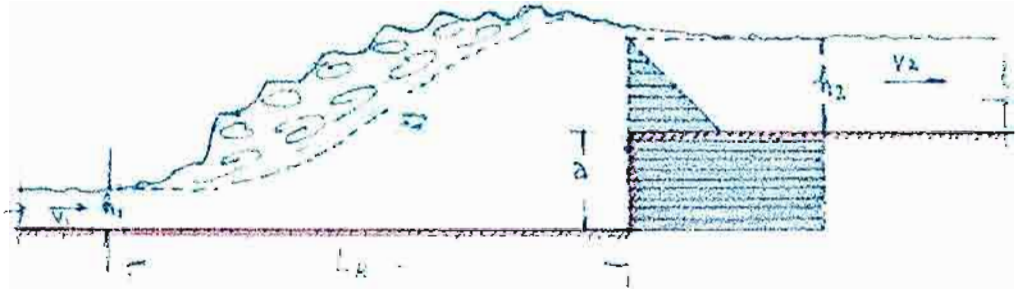


Figura 2.79 Texto H. Mery

El largo de este resalto se determina con la relación experimental:

$$L_{Re\,s} = 6 \times \left(h_2 + \frac{6}{5} \times a \right) \qquad (121)$$

Por lo tanto en función de la altura "h2" del canal aguas abajo de la piscina y la grada "a" se puede obtener el largo Lr de la piscina, estos cálculos se muestran a continuación:

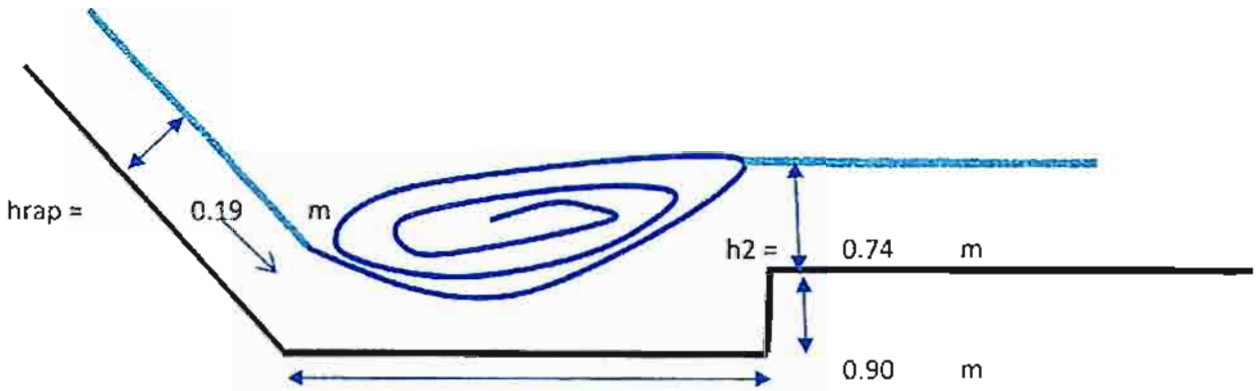
En este caso aguas abajo se planea un segundo rápido por lo tanto antes de entrar al segundo rápido se planea tener altura critica en la sección dicha altura mas la grada debe ser mayor a h2 obtenida por el cálculo.

CALCULO DE LA ALTURA NORMAL Y CRITICA CANAL ANTES DE RAPIDO N°2

Hn (m) =	0.80	RUG. n =	0.013	K =	0.00
Hc (m) =	0.74	PEND. i =	0.0025	b (m) =	3.00

En este caso la altura crítica es 0,74 m, por lo tanto la grada se calcula para que h2 sea igual o menor a 0, 74 m, es decir:

V1 =	10.53	m/s	Y =	3.90	
h1 =	0.19	m	A =	4.74	
a =	0.90	m			
q =	2.00	m3/s/ml	F1 =	8.04	
h2 =	0.74	m	LR =	10.9296577	m
B =	3.00	m			
tg α	0.73		F1 >FR	OK	



LR = 10.93 m

La condición es que el numero de froude en el rápido FR sea siempre menor que el froude en la cubeta (F1). En Función de lo anterior se necesita una grada de 0,9 m y una piscina de 10 m de largo.

Adicionalmente aguas abajo de la piscina se conecta al rápido N°2, esta obra tiene un largo de 25 m y una pendiente de un 40% las características del escurrimiento en la sección son las siguientes:

CALCULO DE LA ALTURA NORMAL Y CRITICA EN EL RAPIDO

Hn (m) =	0.22	RUG. n =	0.025	K =	0.00
Hc (m) =	0.74	PEND. i =	0.45041667	b (m) =	3.00

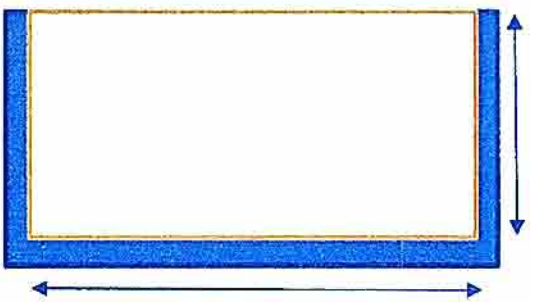
VEL =	8.99	m/s
FR =	6.09	
REV =	0.80	m

De acuerdo a esto la sección deberá tener un ancho de 3 m, con fondo en mampostería en piedra y una altura de 1 m de acuerdo a lo recomendado por H. Mery según la siguiente ecuación para flujos torrenciales:

El USBR recomienda en estos canales dejar un resguardo amplio y recomienda la siguiente expresión:

$$R_{rev} = 0{,}60 + 0{,}037 \cdot v \cdot \sqrt[3]{h} \quad [\text{m}] \qquad (103)$$

Donde v es la velocidad del flujo y h la altura del escurrimiento, según lo anterior, la sección propuesta para el rápido será:

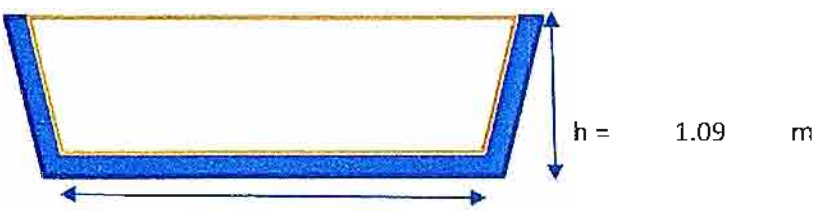


Según la metodología expuesta anteriormente, se calcula h2 y a tal que FR<F1; las características de la sección aguas abajo de la piscina disipadora N°2 serán

CALCULO DE LA ALTURA NORMAL Y CRITICA CANAL DESCARGA DESPUES DE PISCINA N°2

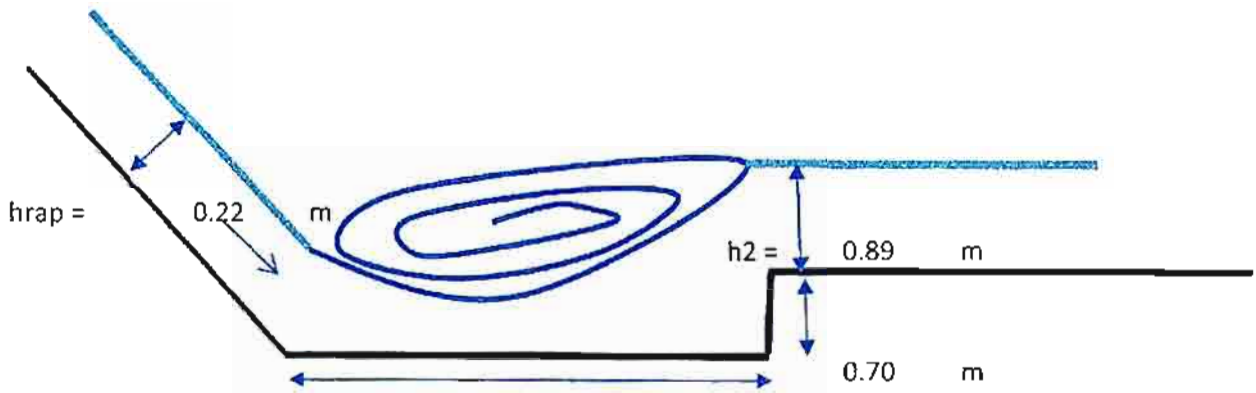
Hn (m) =	**0.89**	**RUG. n =**	**0.025**	**K =**	**0.50**
Hc (m) =	**0.71**	**PEND. i =**	**0.0046**	**b (m) =**	**3.00**

Se considera un cana revestido trapecial, según el siguiente esquema:



En función de esto la altura h2 debe ser de 0,89 m y grada a de 0,7 m; según el siguiente calculo:

V1 =	8.99	m/s	Y =	3.99
h1 =	0.22	m	A =	3.15
a =	0.70	m		
q =	2.00	m3/s/ml	F1 =	6.32
h2 =	0.89	m	LR =	**10.3733654** m
B =	3.00	m		
tg α	0.45		F1 >FR	OK



LR = 10.3733654 m

Por lo tanto h2 es menor o igual a hn del canal de descarga, por lo tanto el largo de la piscina disipadora de 10 m.

ANEXO 7-11

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO
DESCARGA A RIO ACONCAGUA KM 8,97
CANAL MATRIZ

PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCION RIO ACONCAGUA

ANEXO 7-11

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO
DESCARGA A RIO ACONCAGUA KM 8,97 CANAL MATRIZ

REVISIÓN A

01.02.12

FEBRERO 2011

INFORME DESARROLLADO POR:

CALCULADO POR:	DAVID ARACENA
REVISADO POR:	

REVISIONES

REVISION	TIPO DE CAMBIO	FECHA

1. INTRODUCCIÓN

La presente Memoria corresponde a la descripción y cálculo hidráulico de la obra de descarga del canal Matriz en el km 8,97; se plantea reconstruir la descarga existente, esta obra tiene la finalidad de evacuar el agua lluvia que cae al canal entre el km 5 y el km 9. La ubicación de la obra se muestra a continuación:

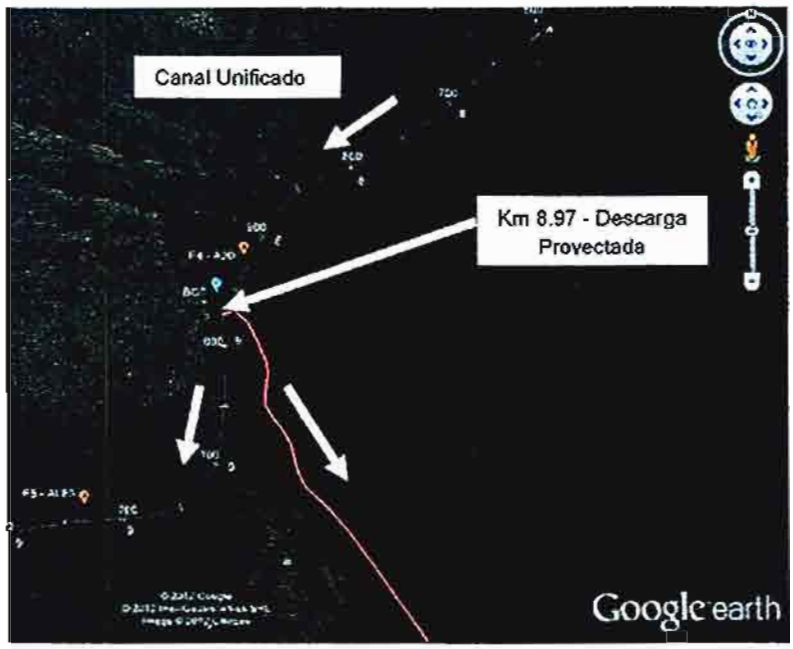


Figura N°1 – Ubicación de la Descarga Proyectada

La obra corresponde a una descarga lateral con un fondo más bajo que el canal controlada por una caja de compuertas, para luego conectar con un rápido de descarga con una piscina disipadora desembocando en un canal de descarga que llega al rio Aconcagua.

El diseño hidráulico de la compuerta de descarga, rápido y cubeta disipadora obedecen a criterios recomendados por el texto "Hidráulica" de F. J. Domínguez y el texto diseño de obras hidráulicas de H. Mery.

2.- DISEÑO DE LA COMPUERTA DE DESCARGA AL RIO

En función de la altura h del canal según el E.H. en el km 8,97 se considera el diseño de las compuertas de descarga, dichas compuertas están 0,6 m más abajo que el fondo del canal, por lo que la carga sobre las compuertas de descarga será h = 1,2+0,6 m = 1,8 m; con esto se calcula la sección necesaria para evacuar los 9.4 m3/s como máximo que es el caudal que se genera por concepto de aguas lluvias en las cuencas que descargan entre los km 5 y km 9 del canal. Se considera descarga libre debido a que el canal esta en ladera y la descarga siempre tendrá flujo supercritico, por lo tanto no influencia la obra. Los cálculos se muestran a continuación:

CALCULO DE COMPUERTA DESCARGA REINOSO KM 8970 - CANAL CATEMU UNIFICADO

$$Q = mab\sqrt{2gh}$$

$$Q = Cba\sqrt{2gh_0}$$

$$Q = mba\sqrt{2g(E_0 - ma)}$$

$$m = \frac{C^2}{2n} + \sqrt{\frac{C^4}{4n^2} + C^2}$$

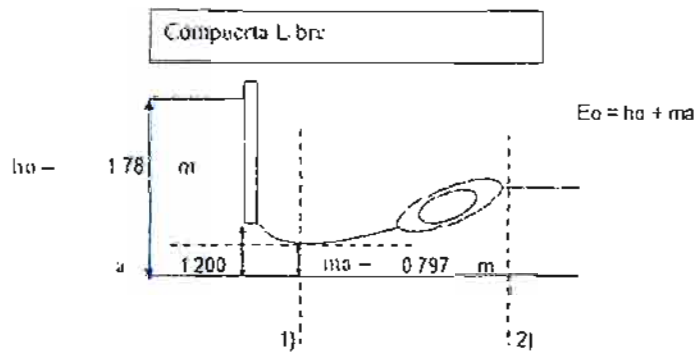
$$x = \frac{h_0}{a}$$

$$C = 0.54265\left(\frac{h_0}{a}\right)^{\cdots}$$

Q = m*a*b*raiz(2*g*h)
Q =C*a*b*raiz(2*g*h)
Q = m*a*b*raiz(2*g*(Eo-ma))

	Q =	9.4	m3/s	Q/Q* =	1.000096
	Q* =	9.399	m3/s		
	m =	0.664			
dato	a =	1.200	m		
dato	b =	2	m		
resultado	ho =	1.78	m		
	C =	0.552			
	n =	1.479			

Calcula ho



Dimensionamiento de la sección de descarga:

De acuerdo a esto la sección de descarga será de 1,2 m de alto por 1,0 m de ancho en dos módulos como se muestra en la siguiente figura:

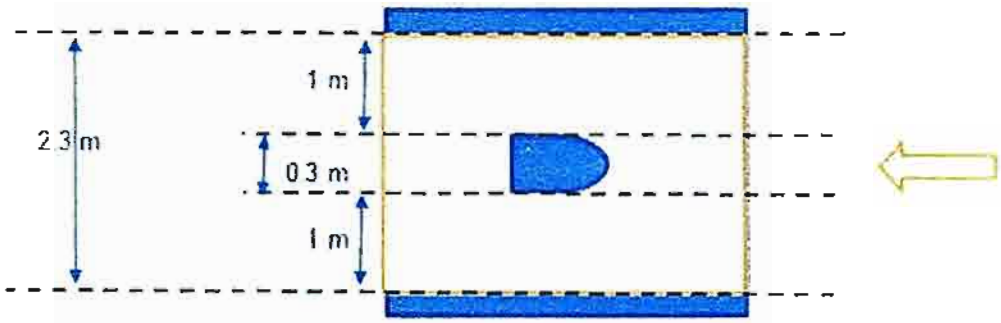
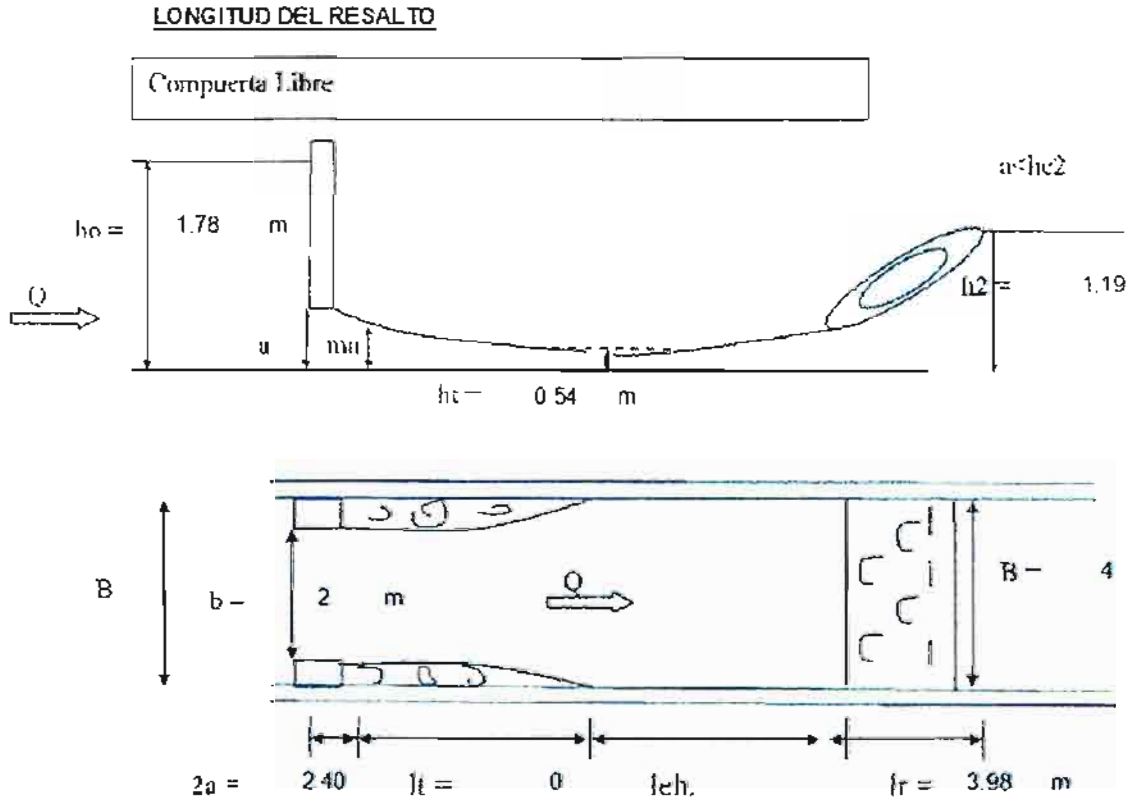


Fig. 4 – Dimensionamiento de sección de las compuertas de descarga

Finalmente aguas abajo de la compuerta se produce un régimen torrencial el cual al enfrentarse a una pendiente muy baja tendera a producirse un resalto y alcanzar la altura conjugada de la altura de torrente ht; esta altura conjugada del torrente resulta ser de 1,2 m y se produce a 6 m aguas abajo de las compuertas, aguas abajo de esto debido a la pendiente baja se produce un rio peraltado que logra controlar el resalto y confinarlo, luego desemboca en crisis al inicio del rápido. Esto se muestra en el siguiente esquema:



A.- EXPANSIÓN DEL FLUJO AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA

Cálculo de l_t : este tipo de choros se expande con un ángulo $\alpha \approx 10°$, así se tiene :

$$\tan\alpha \approx \frac{B-b}{2l} \quad \Rightarrow \quad l \approx \frac{B-b}{2\tan\alpha} \quad \Rightarrow \quad l_t \approx 2{,}81B - b$$

lt = 0 m B = 2 m

B - ALTURA DEL ESCURRIMIENTO EN LA EXPANSION

$$ma + \frac{Q^2}{g(mab)^2} = h_t + \frac{Q^2}{2g(Bh_t)^2} \quad \Rightarrow \quad h_t = \sqrt{\frac{Q^2}{2gB^2(E_c - h_t)}} \qquad Ec = ma + \frac{Q^2}{g(mab)^2}$$

m = 0.663944
a = 1.200 m
b = 2 m
Q = 9.4 m3/s
Ec = 4.347679 m
ht = 0.54 m

ht' = 0.544363

ht'-ht = 2.31E-07

C.- CALCULO DE LA ALTURA CONJUGADA DEL RESALTO

X1 = h1/hc
X2=h2/hc

$$X_1 = -\frac{X_2}{2} + \sqrt{\frac{X_2^2}{4} + \frac{2}{X_2}}$$

h_c es la altura crítica en el canal

h_1 es la altura conjugada del resalto de torrente.

h_2 es la altura del escurrimiento aguas abajo de la obra

X2 = 0.66
h1 = 0.54 m
hc = 0.83 m
X1 = 1.44
h2 = 1.19 m

D - UBICACION DEL RESALTO

ubicación **resalto rechazado aguas abajo de la expasión**

E.- LARGO DEL RESALTO

ht = 0.54 m
hc = 0.83 m
lr = 3.98 m

$$l_r = (18 - 20\frac{h_1}{h_{c2}})h_{c2}$$

F.- LARGO TOTAL DE LA PERTURBACION

Lt = 2a + lt + lr + leh

Lt = 6.38 m

2.- DISEÑO DEL RAPIDO Y CUBETA DISIPADORA

El caudal de 9.4 m3/s prosigue aguas abajo de las compuertas como ya fue dicho, se conecta con un rápido de conducción de 193 m de largo y una pendiente de 7,3% las características del escurrimiento en la sección son las siguientes:

CALCULO DE LA ALTURA NORMAL Y CRITICA EN EL RAPIDO

Hn (m) =	0.52	RUG. n =	0.025	K =	0.00
Hc (m) =	0.97	PEND. i =	0.07324324	b (m) =	3.00

VEL =	5.75	m/s
FR =	2.55	
REV =	0.77	m

De acuerdo a esto la sección deberá tener un ancho de 3 m, con fondo en mampostería en piedra y una altura de 1.3 m de acuerdo a lo recomendado por H. Mery según la siguiente ecuación para flujos torrenciales:

El USBR recomienda en estos canales dejar un resguardo amplio y recomienda la siguiente expresión:

$$R_{res} = 0{,}60 + 0{,}037 \cdot v \cdot \sqrt[3]{h} \quad [\text{m}] \qquad (103)$$

Donde v es la velocidad del flujo y h la altura del escurrimiento, según lo anterior, la sección propuesta para el rápido será:

h = 1.30 m

3.00 m

La piscina disipadora se calcula según las recomendaciones del H. Mery según lo siguiente:

Se denomina $Y = \frac{h_2}{h_1}$ y $A = \frac{a}{h_2}$, la relación (117) se transforma en la siguiente:

$$F_1^2 = \frac{Y \times (Y^2 + 2 \times A \times Y + 2 \times A^2 - 1)}{2 \times (Y - 1)} \qquad (118)$$

Para verificar si se genera el resalto aguas arriba de la grada puede aplicarse la ecuación (118). Si el F_1 calculado es mayor que el N° de Froude del torrente, significa que la grada junto con la altura h_2 es capaz de controlar un resalto más potente e inmediatamente aguas arriba de la grada se daría una altura de agua que ahogaría al torrente de aguas arriba. Si el F_1 calculado es menor que el N° de Froude del torrente, se produce el caso (b) de la figura 2.79, el torrente choca con la grada y se encarama sobre ella.

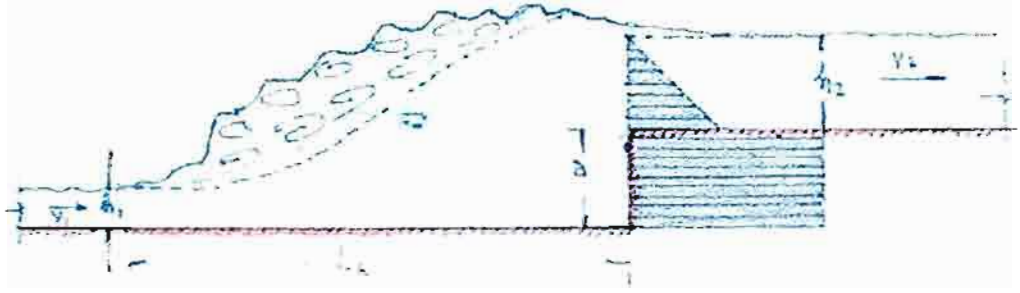


Figura 2.79 Texto H. Mery

El largo de este resalto se determina con la relación experimental:

$$L_{Res} = 6 \times \left(h_2 + \frac{6}{5} \times a \right) \qquad (121)$$

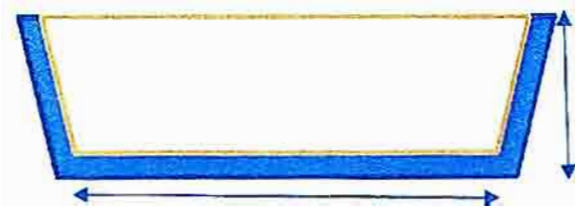
Por lo tanto en función de la altura "h2" del canal aguas abajo de la piscina y la grada "a" se puede obtener el largo Lr de la piscina, estos cálculos se muestran a continuación:

Según la metodología expuesta anteriormente, se calcula h2 y a tal que FR<F1; las características de la sección aguas abajo de la piscina disipadora serán

CALCULO DE LA ALTURA NORMAL Y CRITICA CANAL DE DESCARGA

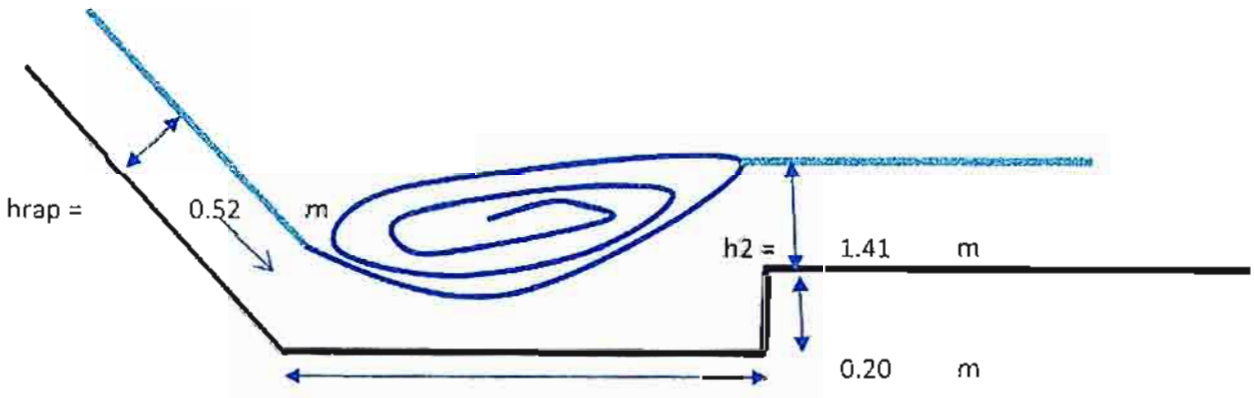
Hn (m) =	1.41	RUG. n =	0.035	K =	0.50
Hc (m) =	0.78	PEND. i =	0.0025	b (m) =	4.00

Se considera un cana en tierra trapecial, según el siguiente esquema:



En función de esto la altura h2 debe ser de 1.41 m y grada a de 0,2 m; según el siguiente cálculo:

V1 =	5.75	m/s	Y =	2.70
h1 =	0.52	m	A =	0.38
a =	0.20	m		
q =	3.00	m3/s/ml	F1 =	2.62
h2 =	1.41	m	LR =	9.89508872 m
B =	3.00	m		
tg α	0.07		F1 >FR	OK



Por lo tanto h2 es menor o igual a hn del canal de descarga, por lo tanto el largo de la piscina disipadora de 10 m.

ANEXO 7-12

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO
ENTREGA A CANALES CATEMU ABAJO Y PEPINO KM 5,75 CANAL MATRIZ

PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCION RIO ACONCAGUA

ANEXO 7-12

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO
ENTREGA A CANALES CATEMU ABAJO Y PEPINO
KM 5,75 CANAL MATRIZ

REVISIÓN A

01.02.12

FEBRERO 2011

INFORME DESARROLLADO POR:

CALCULADO POR:	DAVID ARACENA
REVISADO POR:	

REVISIONES

REVISION	TIPO DE CAMBIO	FECHA

1. INTRODUCCIÓN

La presente Memoria corresponde a la descripción y cálculo hidráulico de la obra de entrega del canal Matriz en el km 5,75; se plantea entregar a las bocatomas del canal Abajo de Catemu y Pepino parte de sus derechos avaluados en 7,5 m3/s como máximo, para ello se diseño una entrega que consta de un rápido de descarga con disipador y un canal de entrega que llega hasta las actuales bocatomas de estos canales. La ubicación de la obra se muestra a continuación:

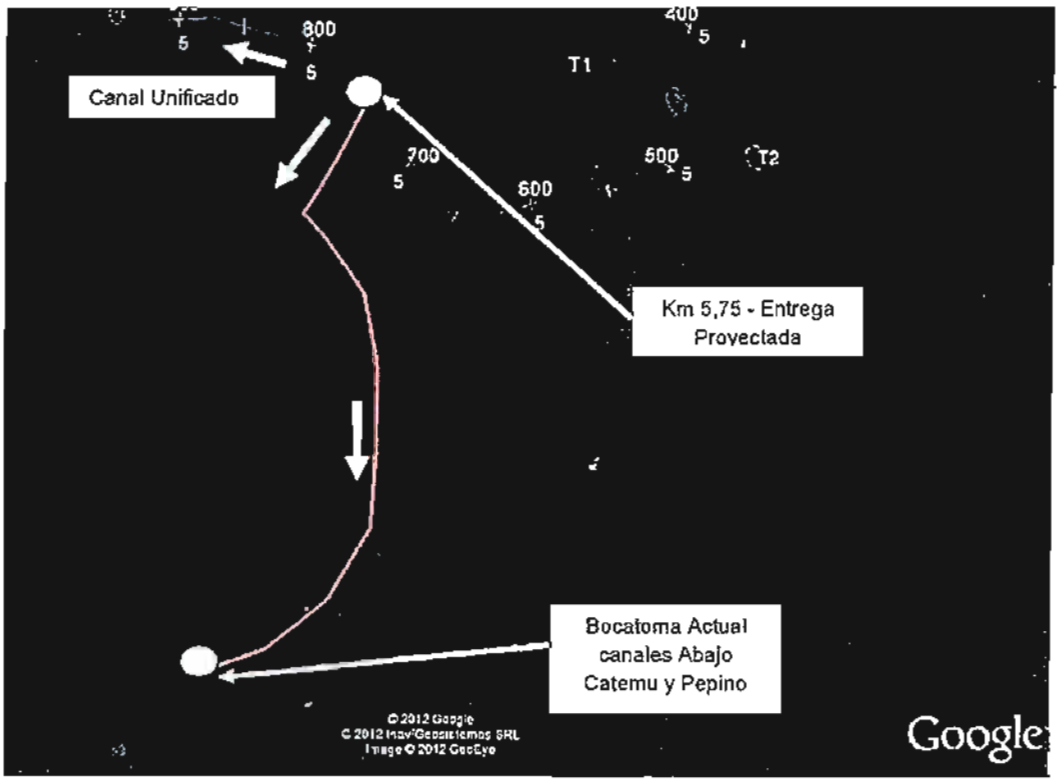


Figura N°1 – Ubicación de la Entrega Proyectada

La obra corresponde a una descarga lateral con un fondo más bajo que el canal controlada por una caja de compuertas, para luego conectar con un rápido de descarga con una piscina disipadora desembocando en un canal de entrega que llega hasta la bocatoma de los canales Abajo Catemu y Pepino.

El diseño hidráulico de la compuerta de descarga, rápido y cubeta disipadora obedecen a criterios recomendados por el texto "Hidráulica" de F. J. Domínguez y el texto diseño de obras hidráulicas de H. Mery.

2.- DISEÑO DE LA COMPUERTA DE ENTREGA

En función de la altura h del canal según el E.H. en el km 5,75 se considera el diseño de las compuertas de entrega, dichas compuertas están 0,6 m más abajo que el fondo del canal, por lo que la carga sobre las compuertas de descarga será h = 1,2+0,6 m = 1,8 m; con esto se calcula la sección necesaria para evacuar los 7,5 m3/s como máximo que es el caudal que se pretende entregar. Se considera descarga libre debido a que el canal esta en ladera y la descarga siempre tendrá flujo supercritico, por lo tanto no influencia la obra. Los cálculos se muestran a continuación:

CALCULO DE COMPUERTA ENTREGA KM 5750 - CANAL CATEMU UNIFICADO

$$Q = mab\sqrt{2gh}$$

$$Q = Cba\sqrt{2gh_0}$$

$$Q = mba\sqrt{2g(E_0 - ma)}$$

$$m = \frac{C^2}{2n} + \sqrt{\frac{C^4}{4n^2} + C^2}$$

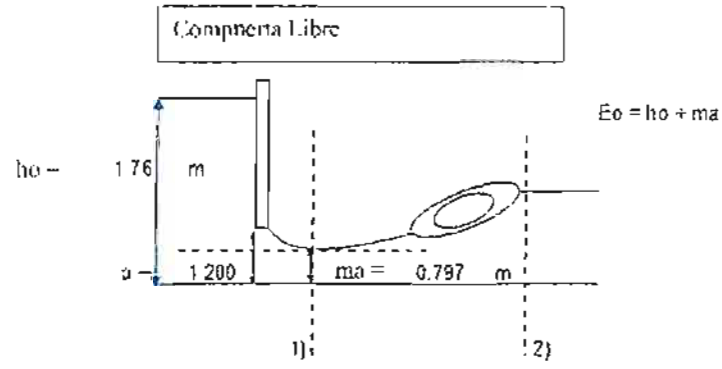
$$n = \frac{h_0}{a}$$

$$C = 0.54265\left(\frac{h_0}{a}\right)^{0.0177}$$

Q = m*a*b*raiz(2*g*h)
Q =C*a*b*raiz(2*g*h)
Q = m*a*b*raiz(2*g*(Eo-ma))

	Q =	7.5	m3/s	Q/Q* =	0.999956
	Q* =	7.500	m3/s		
	m =	0.665			
dato	a =	1.200	m		
dato	b =	1.6	m		
resultado	ho =	1.76	m		
	C =	0.551			
	n =	1.469			

Calcula ho



Dimensionamiento de la sección de entrega:

De acuerdo a esto la sección de entrega será de 1,2 m de alto por 0,8 m de ancho en dos módulos como se muestra en la siguiente figura:

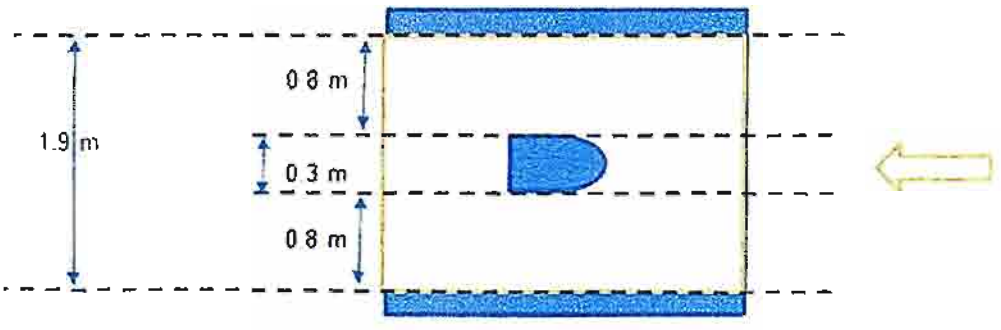
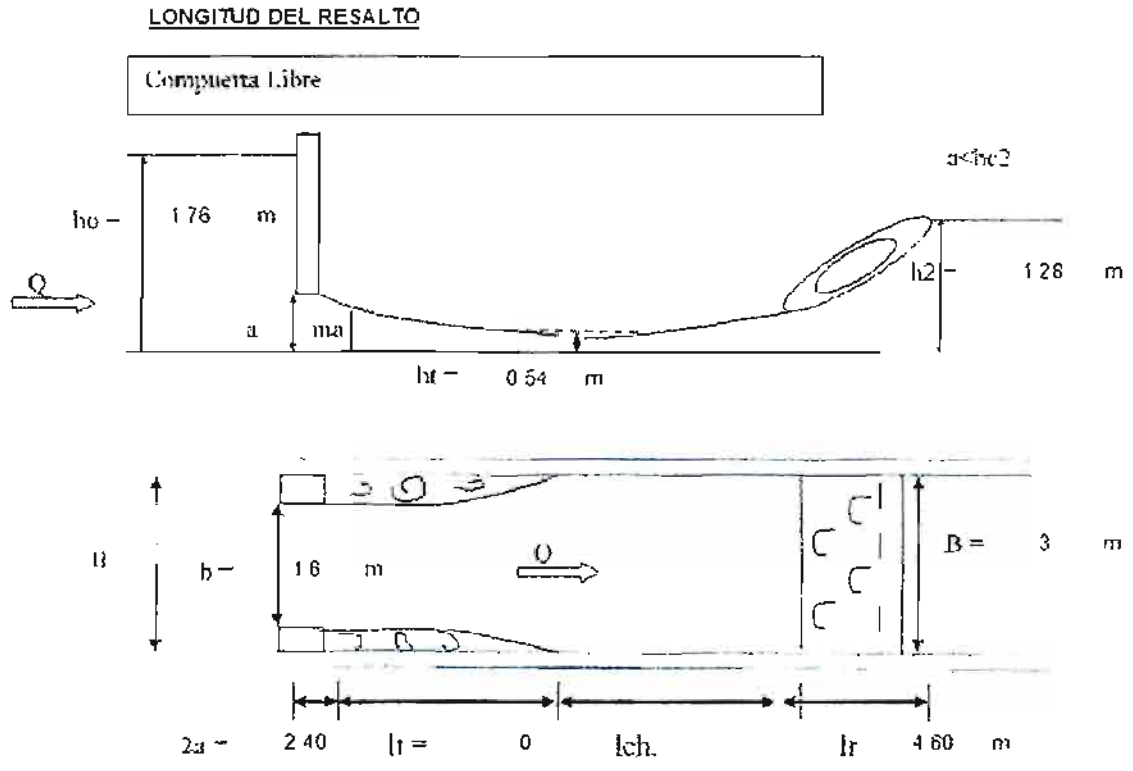


Fig. 4 – Dimensionamiento de sección de las compuertas de descarga

Finalmente aguas abajo de la compuerta se produce un régimen torrencial el cual al enfrentarse a una pendiente muy baja tendera a producirse un resalto y alcanzar la altura conjugada de la altura de torrente ht; esta altura conjugada del torrente resulta ser de 1,28 m y se produce a 7 m aguas abajo de las compuertas, aguas abajo de esto debido a la pendiente baja se produce un rio peraltado que logra controlar el resalto y confinarlo, luego desemboca en crisis al inicio del rápido. Esto se muestra en el siguiente esquema:



A - EXPANSIÓN DEL FLUJO AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA

Cálculo de l_t : este tipo de chorros se expande con un ángulo $\alpha \leq 10°$, así se tiene :

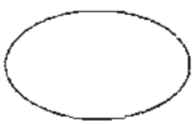
$$\tan\alpha \approx \frac{B-b}{2l_t} \Rightarrow l_t \approx \frac{B-b}{2\tan\alpha} \Rightarrow l_t \approx 2{,}8(B-b)$$

lt = 0 m B = 1 6 m

B - ALTURA DEL ESCURRIMIENTO EN LA EXPANSION

$$ma + \frac{Q^2}{g(mab)^2} = h_t + \frac{Q^2}{2g(Bh_t)^2} \Rightarrow h_t = \sqrt{\frac{Q^2}{2gB^2(E_c - h_t)}} \qquad Ec = ma + \frac{Q^2}{g(mab)^2}$$

m = 0.664561
a = 1.200 m
b = 1 6 m
Q = 7.5 m3/s
Ec = 4.323003 m
ht = 0 54 m



ht* = 0 54471

ht*-ht = 7.05E-06

C - CALCULO DE LA ALTURA CONJUGADA DEL RESALTO

X1 = h1·hc
X2=h2·hc

$$X_1 = -\frac{X_2}{2} + \sqrt{\frac{X_2^2}{4} + \frac{2}{X_2}}$$

X2 = 0 63
h1 = 0 54 m
hc = 0 86 m
X1 = 1.49
h2 = 1.28 m

h_c es la altura crítica en el canal

h_1 es la altura conjugada del resalto de torrente.

h_2 es la altura del escurrimiento aguas abajo de la obra

D - UBICACIÓN DEL RESALTO

ubicación. resalto rechazado aguas abajo de la expasión

E - LARGO DEL RESALTO

ht = 0 54 m
hc = 0.86 m
lr = 4 60 m

$$l_r = (18 - 20\frac{h_1}{h_{c2}})h_{c2}$$

F - LARGO TOTAL DE LA PERTURBACION

Lt = 2a + lt + lr + leh

Lt = 7 00 m

CALCULO DE LA ALTURA NORMAL Y CRITICA AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA

Hn (m) =	1.31	RUG. n =	0.013	K (h/v) =	0.00
Hc (m) =	0.86	PEND. i =	0.001	b (m) =	3.00

Debido a que altura conjugada calcula h2 = 1.28 es menor a la altura norma de la sección aguas abajo hn = 1.31 el resalto queda confinado.

2.- DISEÑO DEL RAPIDO Y CUBETA DISIPADORA

El caudal de 7.5 m3/s prosigue aguas abajo de las compuertas como ya fue dicho, se conecta con un rápido de conducción de 45 m de largo y una pendiente de 48% las características del escurrimiento en la sección son las siguientes:

CALCULO DE LA ALTURA NORMAL Y CRITICA EN EL RAPIDO

Hn (m) =	0.25	RUG. n =	0.025	K =	0.00
Hc (m) =	0.86	PEND. i =	0.48	b (m) =	3.00

VEL =	9.8	m/s
FR =	6.26	
REV =	0.83	m

De acuerdo a esto la sección deberá tener un ancho de 3 m, con fondo en mampostería en piedra y una altura de 1.0 m de acuerdo a lo recomendado por H. Mery según la siguiente ecuación para flujos torrenciales:

El USBR recomienda en estos canales dejar un resguardo amplio y recomienda la siguiente expresión:

$$R_{rev.} = 0.60 + 0.037 \cdot v \cdot \sqrt[3]{h} \quad [\text{m}] \qquad (103)$$

Donde v es la velocidad del flujo y h la altura del escurrimiento, según lo anterior, la sección propuesta para el rápido será:

h = 1.00 m

3.00 m

La piscina disipadora se calcula según las recomendaciones del H. Mery según lo siguiente:

Se denomina $Y = \frac{h_2}{h_1}$ y $A = \frac{a}{h_1}$, la relación (117) se transforma en la siguiente:

$$F_1^2 = \frac{Y \times (Y^2 + 2 \times A \times Y + 2 \times A^2 - 1)}{2 \times (Y - 1)} \qquad (118)$$

Para verificar si se genera el resalto aguas arriba de la grada puede aplicarse la ecuación (118). Si el F_1 calculado es mayor que el N° de Froude del torrente, significa que la grada junto con la altura h_2 es capaz de controlar un resalto más potente e inmediatamente aguas arriba de la grada se daría una altura de agua que ahogaría al torrente de aguas arriba. Si el F_1 calculado es menor que el N° de Froude del torrente, se produce el caso (b) de la figura 2.79, el torrente choca con la grada y se encarama sobre ella.

Figura 2.79 Texto H. Mery

El largo de este resalto se determina con la relación experimental:

$$L_{Res} = 6 \times \left(h_2 + \frac{6}{5} \times a \right) \qquad (121)$$

Por lo tanto en función de la altura "h2" del canal aguas abajo de la piscina y la grada "a" se puede obtener el largo Lr de la piscina, estos cálculos se muestran a continuación:

Según la metodología expuesta anteriormente, se calcula h2 y a tal que FR<F1; las características de la sección aguas abajo de la piscina disipadora serán

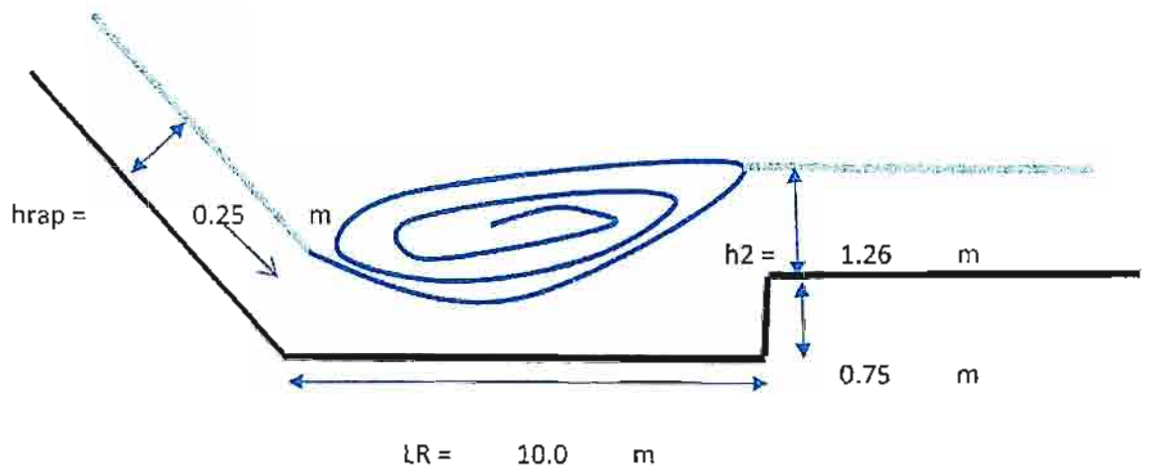
CALCULO DE LA ALTURA NORMAL Y CRITICA CANAL COLECTOR AGUAS ABAJO

Hn (m) =	1.06	RUG. n =	0.025	K =	0.50
Hc (m) =	0.91	PEND. i =	0.0058	b (m) =	2.50

Se considera un cana en tierra trapecial, según el siguiente esquema:

En función de esto la altura h2 debe ser de 1.06 m y grada a de 0,75 m; según el siguiente cálculo:

V1 =	9.80	m/s	Y =	4.24	
h1 =	0.25	m	A =	3.00	
a =	0.75	m			
q =	1.89	m3/s/ml	F1 =	6.29	
h2 =	1.06	m	LR =	**10**	m
B =	4.00	m			
tg α	0.46		F1 >FR	**OK**	



Por lo tanto h2 es menor o igual a hn del canal de descarga, por lo tanto el largo de la piscina disipadora de 10 m.

ANEXO 7-13

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO ENTREGAS A RIEGO

PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCION RIO ACONCAGUA

ANEXO 7-13

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO
ENTREGAS A RIEGO

REVISIÓN A

23.01.12

FEBRERO 2011

INFORME DESARROLLADO POR:

CALCULADO POR:	DAVID ARACENA
REVISADO POR:	

REVISIONES

REVISION	TIPO DE CAMBIO	FECHA

1 INTRODUCCIÓN

Se presentan los cálculos hidráulicos correspondientes a las obras de entrega a riego del nuevo canal matriz Catemu.

Se ha concebido una obra de entrega simple y económica, que básicamente no modifica la sección del canal. Esta consiste en una compuerta lateral, canal de sección rectangular de hormigón y obra de aforo, consistente en una barrera triangular, con regla.

El cálculo hidráulico consiste básicamente en dimensionar la compuerta y canal de salida por una parte, y por otra, en dimensionar la barrera de aforo. La barrera de aforo debe cumplir con la condición típica de aguas abajo, es decir que el resalto al pie se encuentra rechazado, y por otra, que ahogue el resalto que se produce aguas abajo de la compuerta de acceso.

Se presenta en esta memoria un esquema de planta y perfil de la obra, los detalles pueden visualizarse en los planos.

La ubicación de las obras es la siguiente:

Nº	Km
	(m)
1	1.45
2	7.225
3	7.4
4	8.87
5	12.8
6	13.35

2 OBRA DE ENTREGA A RIEGO

La obra de entrega consiste en un rebaje de fondo en la sección del canal matriz, con el objeto de asegurar la salida del caudal de entrega, el que se controla mediante una compuerta que se ubica aguas abajo. Luego del cruce bajo el camino de borde se ubica la obra de aforo, consistente en una barrera triangular.

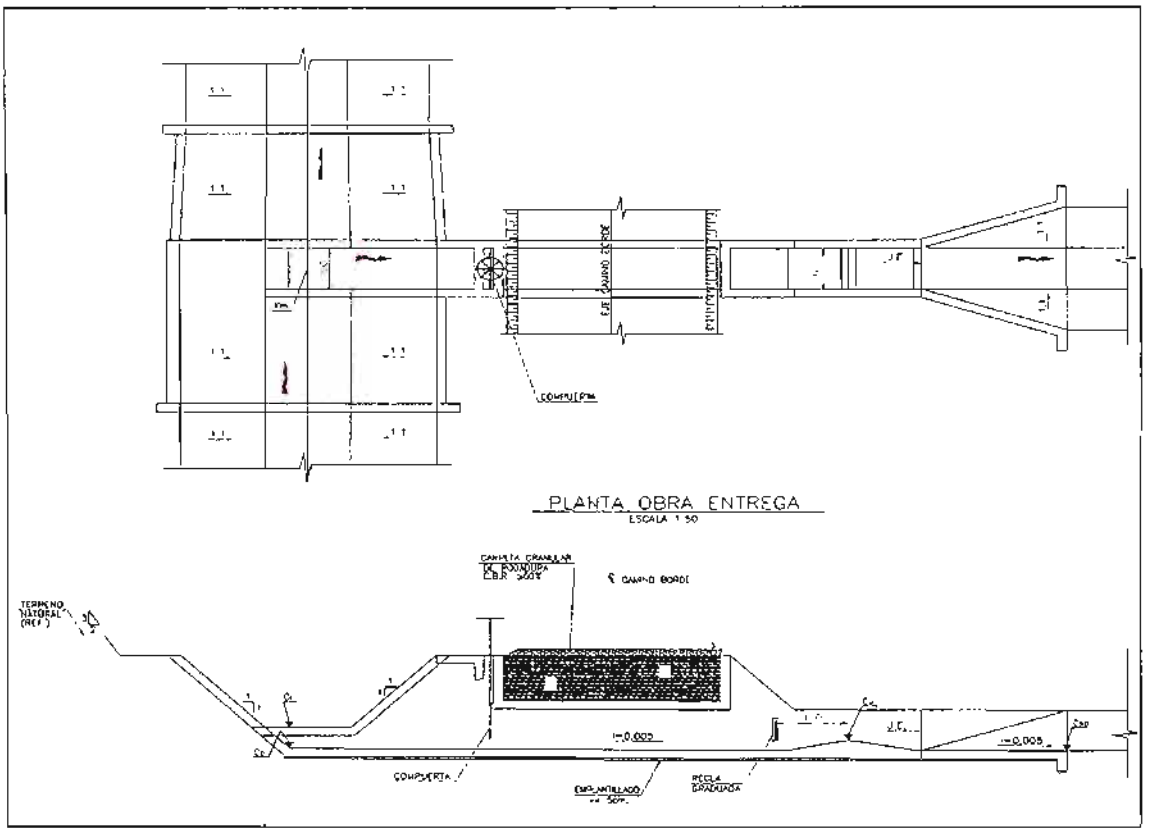


Fig. 2.1-1. Esquema de Obra de Entrega a Riego.

2.1 Cálculo Hidráulico de las obras

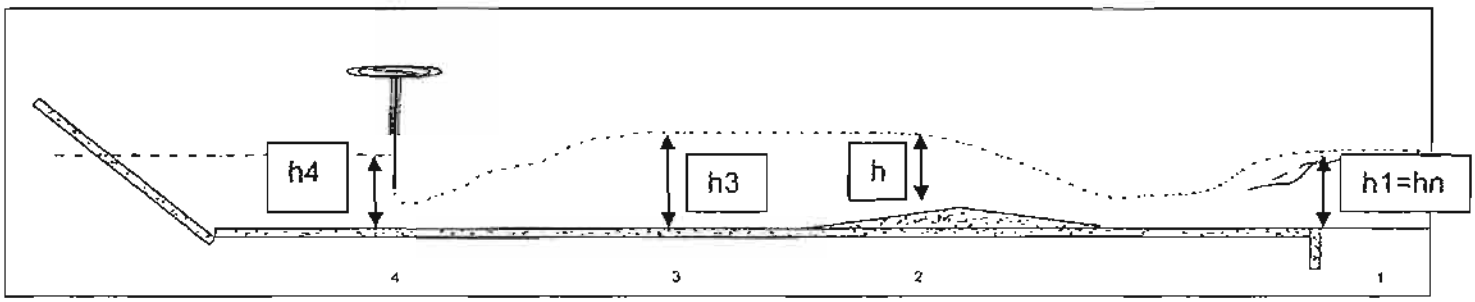


Fig. 2.1-1 Esquema de obra de entrega a riego.

2.1.1 Calculo de Altura de Barrera Triangular (a)

El cálculo de la altura de la barrera se realizó estimando un caudal máximo de 200 l/s. Se presentan a continuación los parámetros hidráulicos de la sección (1) la cual corresponde a una sección de canal rectangular:

Tabla 2.1.1-1. Parámetros Hidráulicos de Sección (1).

Q (m3/s)	b(m)	n	i	hn (m)	Vn (m/s)	Bn (m)
0,15	0,5	0,015	0,002	0,36	0,83	0,396
0,10	0,5	0,015	0,002	0,26	0,76	0,293

Se determinó la altura de barrera triangular, de tal forma que opere libre y no se vea influenciada desde aguas abajo. El cálculo se realizó de acuerdo a la figura 290 del libro "Hidráulica" de F. J. Domínguez 5ª edición, página 579, que se presenta a continuación:

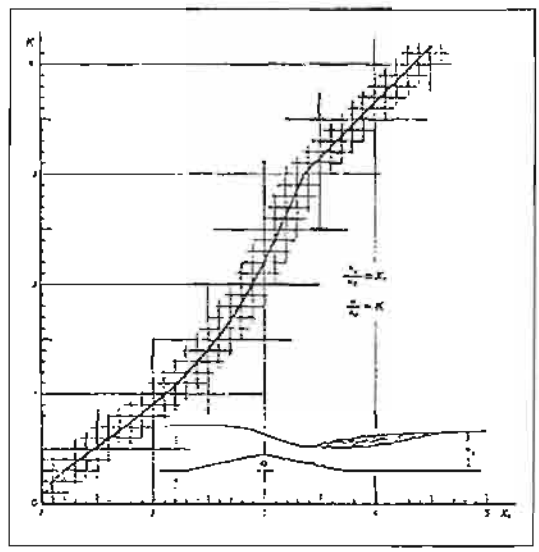


Fig. 2.1-1 Gráfico para la determinación de altura de barrera (Fig. 290 FJD).

$$X_1 = \frac{h_1}{h_c}$$

$$K = \frac{a}{h_c}$$

Resolviendo se obtuvo a = 0,15m para Q=150 l/s. Se adoptará una altura de barrera de 0,2 m.

Se presenta a continuación los parámetros de la barrera triangular:

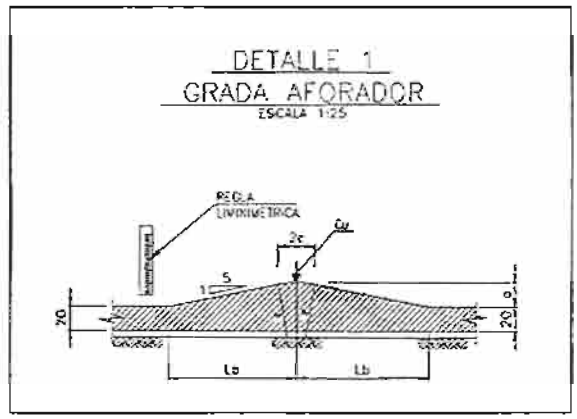


Fig. 2.1.1-2 Detalle de grada de aforador.

Tabla 2.1.1-2. Parámetros de barrera triangular.

a (m)	r (m)	Lb (m)	2c (m)
0.2	0,80	1,10	0,30

2.1.2 Cálculo de Altura h_3

En base a la altura de barrera determinada, se obtiene la carga hidráulica h, que generará dicha barrera y que será la que actúe hacia aguas arriba, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$h_3 = \left(\frac{Q_v}{m \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde: h_3: carga sobre la barrera
Q: caudal máximo = 150 l/s

b : ancho de la sección rectangular
m: coeficiente de gasto del vertedero (obtenido a partir de la figura 292 p.581 del libro de Hidráulica de F. J. Domínguez 5ª edición).

Efectuando el cálculo: h= 0,35m, en consecuencia la altura total en la sección (3) corresponde a la sumatoria de la altura del eje hidráulico y la altura de la barrera:

$$h3 = 0,35 + 0,2 = 0,55 \text{ m}$$

2.1.3 Dimensionamiento de Compuertas de Admisión

Se calculó la operación de la compuerta de admisión y se verificó que la altura de barrera adoptada sea suficiente como para ahogar el resalto, o bien que éste debido a su magnitud, no alcance a la barrera o a la zona de medición.

El cálculo de la compuerta se realiza mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$Q = C_c \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(h_o + \frac{v_o^2}{2 \cdot g} - h_4 \right)}$$

Donde:

Q : Caudal de descarga (m^3/s)
a : Abertura de la compuerta (m)
b : Ancho compuerta (m)
Cc: Coeficiente de descarga de la compuerta
h_0: altura de agua aguas arriba de la compuerta (m)
h_4: altura aguas abajo de la compuerta (m)

La altura h_4 sólo debe ser considerada en caso de que la compuerta se encuentre influenciada por aguas abajo. Se estableció despreciable la velocidad de aproximación del flujo a la compuerta. El valor de Cc se obtiene de la Fig. 98 del texto de FJD Sexta edición.

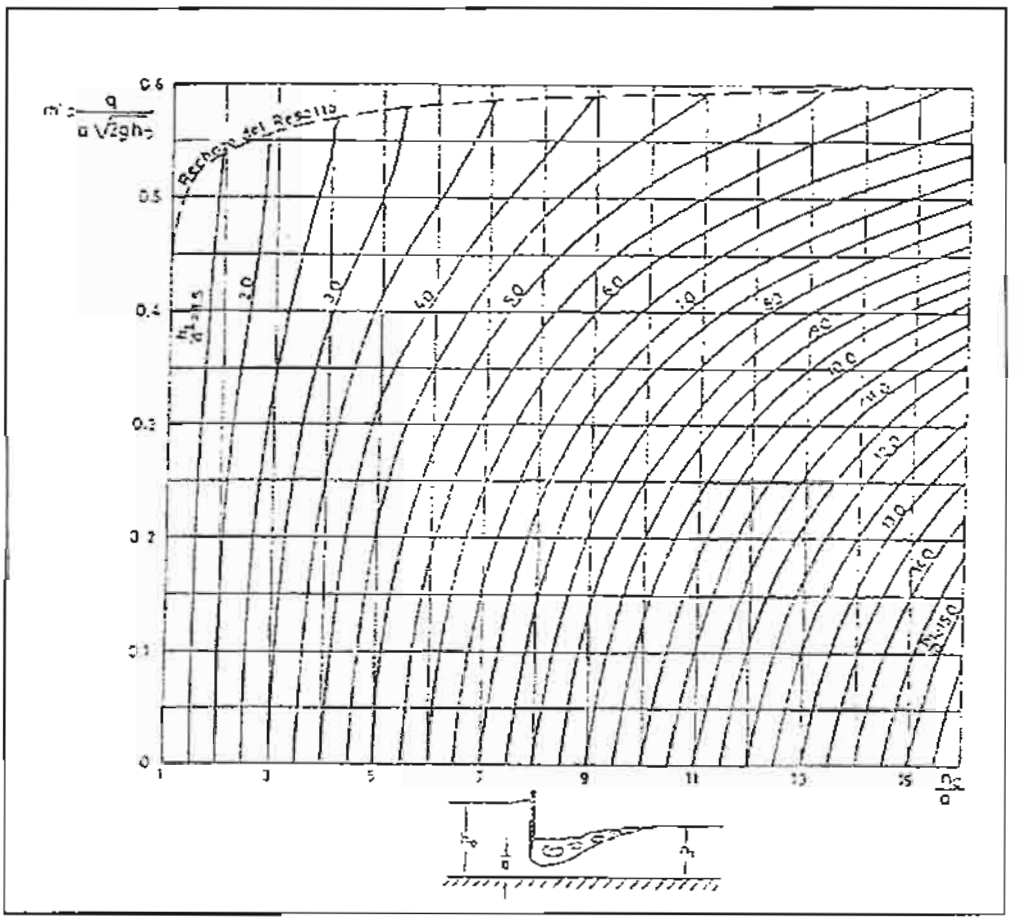


Fig. 2.1.3-1 Coeficiente de gasto de compuertas planas con escurrimiento ahogado aguas abajo de ellas. (Fig. 98 FJD).

El cálculo de las compuertas se realizó, considerando diferentes alturas de agua en el canal, con la finalidad de asegurar que la obra de entrega permita la salida del caudal correspondiente, independientemente del caudal que porten los canales. Considerando una compuerta de 0,5m de ancho y una abertura (a), con un caudal descarga de 0,15 m^3/s se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 2.1.3-1. Calculo de Compuerta de Descarga Q=0,15 l/s

ho (m)	hcr (m)	a (m)	ho/a	h1/a	Cc	Q (m^3/s)
0,9	0,49	0,11	8,2	4,49	0,5	0,153
0,8	0,49	0,14	5,7	3,53	0,46	0,156
0,7	0,49	0,19	3,7	2,60	0,44	0,155
0,6	0,49	0,24	2,5	2,06	0,4	0,165
0,55	0,49	0,30	1,8	1,65	0,31	0,153

Donde:

hcr : Altura conjugada del resalto.
ho = h4 = Altura aguas arriba de la compuerta

De acuerdo a los cálculos, el nivel de aguas en h3 (calculado anteriormente) siempre ahoga el resalto agua abajo de la compuerta, vale decir, siempre la altura h3 resulta mayor que la altura conjugada del resalto (hcr)

A continuación se presenta una tabla con la ubicación y características de las obras de entrega.

Nº	Km	Bc	Hc	Ce	h	b
	(m)	(m)	(m)	(msnm)	(m)	(m)
1	1.45	4	1.7	517.804	0.5	0.5
2	7.225	3	1.7	509.716	0.5	0.5
3	7.4	3	1.7	509.481	0.5	0.5
4	8.87	3	1.75	507.798	0.5	0.5
5	12.8	3	1.6	501.400	0.5	0.5
6	13.35	3	2	500.570	0.5	0.5

ANEXO 7-14

MEMORIA DE CÁLCULO
PREDISEÑO ESTRUCTURAL
MUROS DE BOCATOMA, CÁMARAS DE INSPECCIÓN Y COMPUERTAS DE DESCARGA

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO ARRIBA DE CATEMU, ABAJO DE CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCIÓN RÍO ACONCAGUA

ANEXO 7-14

MEMORIA DE CÁLCULO
PREDISEÑO ESTRUCTURAL
MUROS DE BOCATOMA, CÁMARAS DE INSPECCIÓN Y COMPUERTAS DE DESCARGA

(03-02-2012)

INDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN Y CONTENIDO 4

2 OBJETIVOS 4

3 RESTRICCIONES 4

4 COMPUERTA DE DESCARGA 5

4.1 ANALISIS DE ESTABILIDAD 5

4.1.1 Geometría de la sección 5

4.1.2 Antecedentes 6

4.1.3 Cargas 7

4.1.4 Combinaciones de carga 7

4.1.5 Empuje pasivo 7

4.1.6 Calculo de estabilidad 8

4.1.7 Flotación 8

4.1.8 Deslizamiento 8

4.1.9 Volcamiento con respecto al punto "O" 8

4.2 ESTIMACION DE CUANTIAS DE ACERO 9

4.2.1 Calculo de Cuantías de Acero 9

5 CÁMARAS DE INSPECCIÓN 10

5.1 Consideraciones para cálculo 10

5.2 Estimación de cuantías de acero 11

6 BOCATOMA 13

6.1 Consideraciones para el cálculo 14

6.2 Estimaciones de cuantías de acero 14

7 RESUMEN DE RESULTADOS 15

8 BIBLIOGRAFÍA 15

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama general 6
Figura 2 Diagrama de aplicación de tensiones 7
Figura 3 Empuje pasivo 7
Figura 4 Corte transversal cámara de inspección tipo 10
Figura 5 Situación de losa 11
Figura 6 Perfil elevación bocatoma 13
Figura 7 perfil transversal bocatoma 13

1 INTRODUCCIÓN Y CONTENIDO

En este informe se presenta la verificación estructural preliminar correspondiente a las obras del proyecto "Estudio de pre factibilidad mejoramiento arriba de Catemu, abajo de Catemu y Pepino, segunda sección Río Aconcagua", ubicado en la V región del pais.

Las bases para el diseño están conformadas por las normas, metodologías, informes y referencias a publicaciones que son aplicables a las obras del proyecto y que se mencionan en los criterios de diseño estructural del proyecto.

Para efecto de todos los cálculos, se considerara un acero estructura A 63-42 H, y un hormigón de resistencia H-25.

2 OBJETIVOS

El objetivo de la presente memoria es determinar la estabilidad de los muros de compuerta de descarga, considerando flotación, deslizamiento y volcamiento. Por otro lado, se pretende calcular las cuantías de aceros necesarias, a nivel de pre factibilidad de proyecto, para tener una idea global de cuantos kilogramos de acero se necesitan por cada metro cubico de hormigón, según el tipo de obra.

3 RESTRICCIONES

De acuerdo al código ACI 318 – 05, se tiene que las cuantías mínimas y máximas para asegurar el buen comportamiento de los materiales, así como la ductilidad y resistencia necesaria son para el caso de flexión:

$$\rho \min = Máx \left[\frac{0.8\sqrt{fc'}}{fy} , \frac{14}{fy} \right] \ en \frac{kg}{cm^2}$$

$$\rho \max = 0.025$$

Mientras que para el corte:

$$Vn = Vc + Vs$$

donde

$$Vc = \frac{1}{6}\sqrt{fc'}$$

Lo toma el concreto y fc' está en unidades de [Mpa] y

$$Vn = \frac{Vu}{\emptyset\, b\, d}$$

Y el área mínima es

$$A_{v\,min} = 0.0625 \sqrt{f'_c}\,\frac{b_w\, s}{f_y} \geq 0.35\,\frac{b_w\, s}{f_y}\ [cm^2]$$

Luego, si el corte que resiste el hormigón es mayor que el nominal, solamente se hace necesario la colocación del mínimo de acero, para asegurar el buen comportamiento de la estructura.

4 COMPUERTA DE DESCARGA

4.1 ANALISIS DE ESTABILIDAD

Se analizará la estabilidad a la flotación, deslizamiento y volcamiento de una de las compuertas de descarga al rio. Los datos para el cálculo son; la geometría correspondiente a la sección y las solicitaciones sobre la estructura, tanto para condiciones normales y sísmicas.

El cálculo especifico considera obtener los distintos factores de seguridad correspondientes a los diferentes estados de estabilidad como son: flotamiento, deslizamiento y volcamiento.

4.1.1 Geometría de la sección

Se detalla la geometría de la sección correspondiente a la plata de compuerta de descarga túnel numero 1

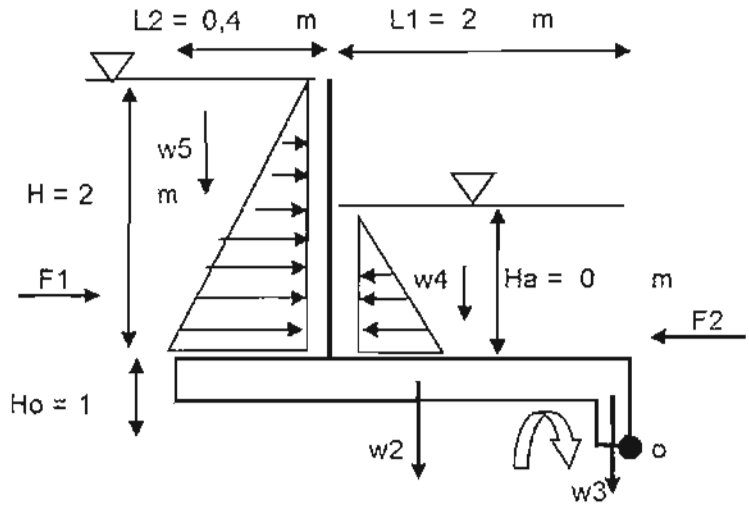


Figura 1 Diagrama general

4.1.2 Antecedentes

Los valores importantes para el chequeo de estabilidad de la compuerta se presentan a continuación:

Angulo fricción	ϕ=	32 °
Peso especifico (terreno húmedo)	γ =	2,2 T/m^3
Coeficiente de empuje activo	Ka=	0,27
Coeficiente de empuje pasivo	Kp=	3.69

El análisis corresponde al de un muro de sección rectangular, con las siguientes cargas consideradas:

- Empuje estático de terreno (Ea)

$$\sigma_{ea} = Ka * \gamma * h$$

- Empuje sísmico de terreno (ΔEa)

$$\Delta\sigma_{ea} = \Delta Ka * \gamma * h$$

- Empuje Lateral debido a sobrecarga (q = 0)

$$\sigma_{sc} = 0$$

4.1.3 Cargas

El diagrama de esfuerzos a la cual se verá solicitada el muro lateral, es el siguiente:

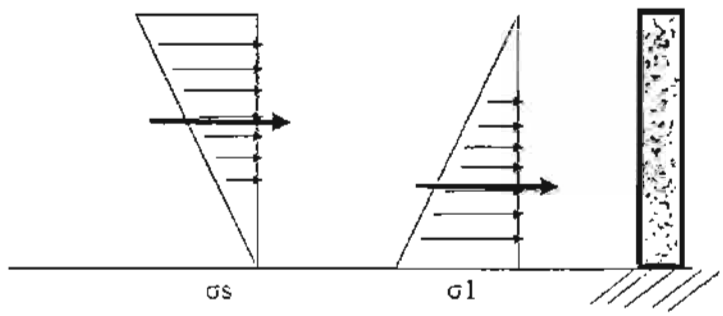


Figura 2 Diagrama de aplicación de tensiones

Dentro de las cargas sísmicas se tiene:

Solicitación sísmica

H = 2,4 m

suelo= 2,2 t/m^3

La Zona Sismica 3 corresponde 0,4g

C = 0,2 C= 0,5 A*

4.1.4 Combinaciones de carga

Las combinaciones de cargas ocupadas para el análisis de empujes son:

- Combinación normal: PP + Ea
- Combinación eventual: PP + Ea + ΔEa

4.1.5 Empuje pasivo

Con respecto al empuje pasivo este se calcula en función del coeficiente de empuje pasivo dado por kp. Este empuje ayuda a la estructura a la estabilidad y está formada básicamente por un diente que se le agrega como lo indica la siguiente ilustración:

Figura 3 Empuje pasivo

4.1.6 Calculo de estabilidad

Para el cálculo de estabilidad se calculan los factores de seguridad asociados al flotamiento, deslizamiento y volcamiento. Éste último con respecto a un punto específico desfavorable en donde pueda ocurrir este fenómeno.

4.1.7 Flotación

Wabajo = W1+W2+W3+Wm+Wc+W4+W5= 5,192 t/m

Wabajo crítico = W1+W2+W3+Wm+Wc = 4,532

Warriba = wp1+wp2+wp3 = 4,01 t/m

F.S. flotación = Wabajocrit/Warr= **1,13 t/m** **> 1 OK**

4.1.8 Deslizamiento

Se hace colaborar al suelo que enfrentan las alas de los muros de la estructura y al suelo que está entre dientes bajo la losa

F deslizantes = F1 = 2,88 t/m

F resistentes = F2+Ep1+Ep2+ (Wabajo-Warriba)*u = 8,42 t/m

u = 0,4 Fsdeslizamiento = Fdes/Fres = 2,9 t/m > 1 OK

4.1.9 Volcamiento con respecto al punto "O"

Mvolcante= F1*(H/3+Ho) + wp1*(L1+L1-e/2)+wp2*(L1+L2)*0,5+wp3*e/2

Mvolcante= 7,8 t-m/m

Mresistente = W1*(L1+L1-e/2)+W2*(L1+L2)*0,5+W3*e/2+W4*L1*0,5+W5*(L1+L2*0,5)+ F2*(Ho+Ha/3)+EP1*h/3+EP2*(h+H)/3

Mresistente = 12,5 t-m/m

Fs volcamiento = Mres/Mvol = **1,61** **> 1 OK**

Como conclusión general se tiene que para las condiciones de diseño de la estructura, ésta es estable tanto para los efectos de volcamiento, deslizamiento y flotación.

4.2 ESTIMACION DE CUANTIAS DE ACERO

Para calcular la armadura necesaria se ha basado los cálculos en función del método de diseño último además de las consideraciones ecuaciones de la norma ACI 318 – 05. En base a lo anterior, se ha procedido a calcular las cuantías de aceros necesarias, teniendo presente que este es un informe de pre factibilidad por lo tanto no es necesario abordar en tanto detalle, teniendo en cuanta las cargas solicitantes para la estructura según la figura 1. Como simplificación, el acero longitudinal y transversal en las losas o muros, será el mismo, considerando el más desfavorable.

4.2.1 Calculo de Cuantías de Acero

Para el caso de los muros laterales se tiene:

espesor	20	cm
recubrimiento	5	cm
fc'	200	kg/cm^2
fy	4200	kg/cm^2
d	15	cm
b por metro	100	cm
Mu	2,8	ton*m
a	1,27	cm/m
As	**5,16**	**cm^2/m**

Donde:

As = acero en cm^2 por unidad de metro

Para el caso del corte, se tiene que $Vc = \frac{1}{6}\sqrt{fc'} = 7.5\frac{kg}{cm^2}$ y $Vn = 3.92\frac{kg}{cm^2}$. Por lo tanto, la armadura a colocar debe ser la mínima necesaria por norma. Tipicamente se coloca $E\emptyset 8@20$, cumpliendo el mínimo con 2.51 cm^2 por metro.

Resumiendo, se tiene que para este tipo de obra, la cantidad de acero necesaria para cada metro cúbico de hormigón, calculado a nivel de pre factibilidad de proyecto, se tiene que es aproximadamente de $53\frac{kg}{m^3}$. Lo anterior, es incluyendo la armadura a flexión y a corte

5 CÁMARAS DE INSPECCIÓN

Para las cámaras de inspección se verificará las cuantías de acero necesarias. En este caso la cámara más solicitada tiene el siguiente corte como lo muestra la Figura 4. Se procede al cálculo de la losa superior.

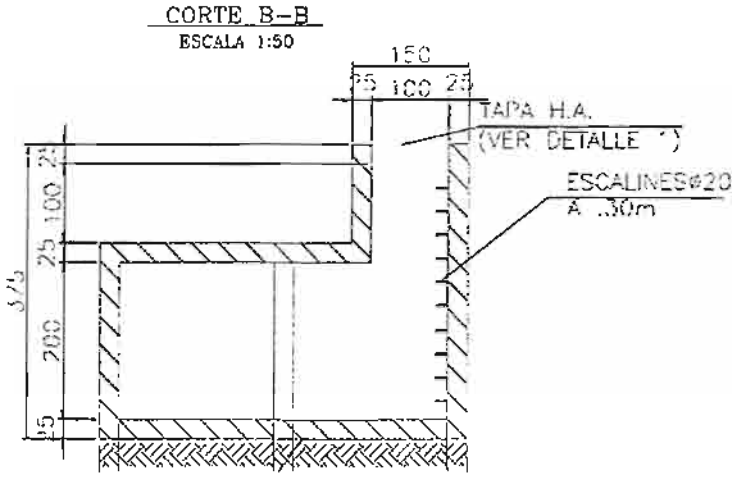


Figura 4 Corte transversal cámara de inspección tipo

5.1 Consideraciones para cálculo

La losa a calcular, se trabajará bajo las siguientes consideraciones:

- Condición de empotramiento perfecto, cuyo momento máximo es — , como lo muestra la Figura 5.
- Relleno estructural según especificaciones, considerando un peso unitario del suelo en condición saturada de — .
- Espesor de la losa, según plano.
- Las dimensiones serán en base a un ancho de un metro unitario.
- La altura de carga por el relleno estructural con proctor modificado, se considerará como el caso más desfavorable posible, es decir, con un relleno máximo de 6 metros de altura. Normalmente, los valores de estos relleno son muchos menores que el dato anteriormente señalado.

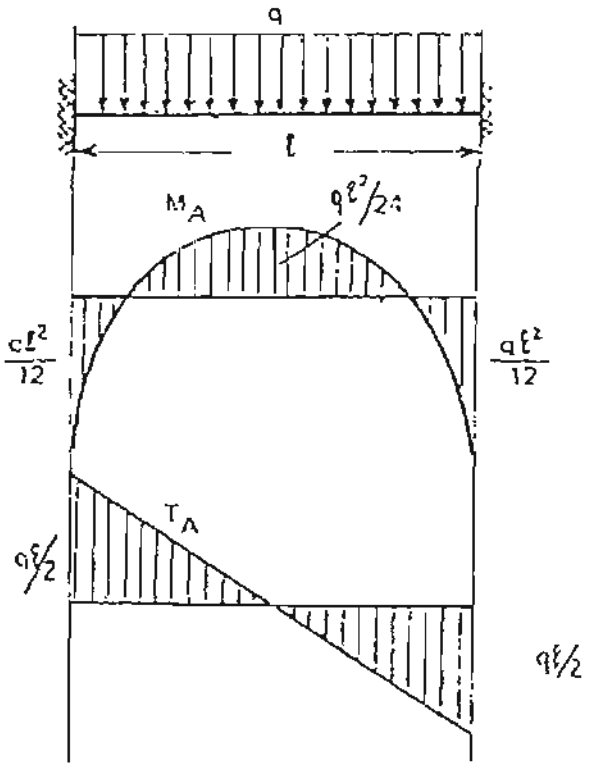


Figura 5 Situación de losa

Teniendo presente lo anterior, se tiene que la cámara más desfavorable tiene dimensiones de ancho B = 5 metros y altura h = 3 metros, medidos en forma interna. La siguiente tabla muestra todos los resultados correspondientes al diseño de esta losa por unidad de metro, considerando momento ultimo como 1,4 veces el momento calculado. Con el procedimiento recomendado por ACI 318 -05, se lo siguiente:

5.2 Estimación de cuantías de acero

Dadas las consideraciones anteriores, se procede a realizar la estimación de cuantías de acero.

altura relleno	6	m
ancho b (unitario)	1	m
espesor losa, e	0,25	m
(1) carga de suelo	1,5	ton/m
(2) peso hormigón	0,0625	ton/m

Suma (1)+(2)	1,56	ton/m
largo	5,5	m
M máx.	**3.9**	Ton m
Mu= 1,4 M máx.	5,51	Ton m
Recubrimiento, r	5	cm
fc'	200	kg/cm^2
fy	4200	kg/cm^2
d= e-r	20	cm
As	7,66	cm^2

Donde:

fc' : Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días en kg/cm^2.

fy: Resistencia a la tracción del acero en kg/cm^2.

d = distancia útil.

b = ancho unitario.

Mu = momento ultimo mayorado.

As = área de acero a ocupar en unidades de cm^2 por metro

Luego, se tiene un área de 7.66 cm^2 de acero por metro lineal. Ahora bien, multiplicando los largos de los fierros por el área mencionada y además ponderando por el peso unitario de este material el cual es 7800 kg $/m^3$, todo esto para una unidad de metro cúbico de hormigón, se tiene una relación de 47.4 kg de acero $/m^3$ de hormigón.

Con respecto al corte se tiene que el máximo está definido como $\frac{ql}{2}$, el cual arroja un corte máximo de 6 toneladas (ya mayorado). Para este valor, el hormigón por si solo resiste este corte, por lo tanto se hace necesario la colocación de la enfierradura mínima para este caso.

Finalmente, el total aproximado de kg. de acero por metro cúbico de hormigón, considerando la armadura a flexión y corte, es de 48.9 kg/m^3.

6 BOCATOMA

Al igual que las obras anteriores, se procede a calcular las cuantías de acero necesarias para esta estructura. A continuación, se presenta distintos perfiles de esta obra

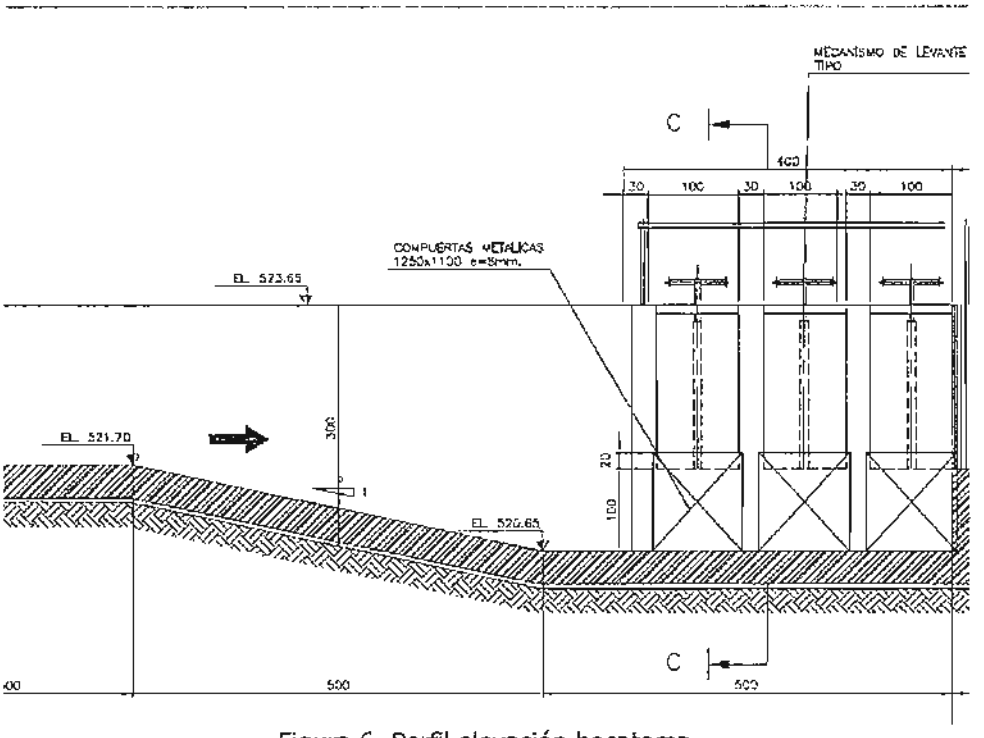


Figura 6 Perfil elevación bocatoma

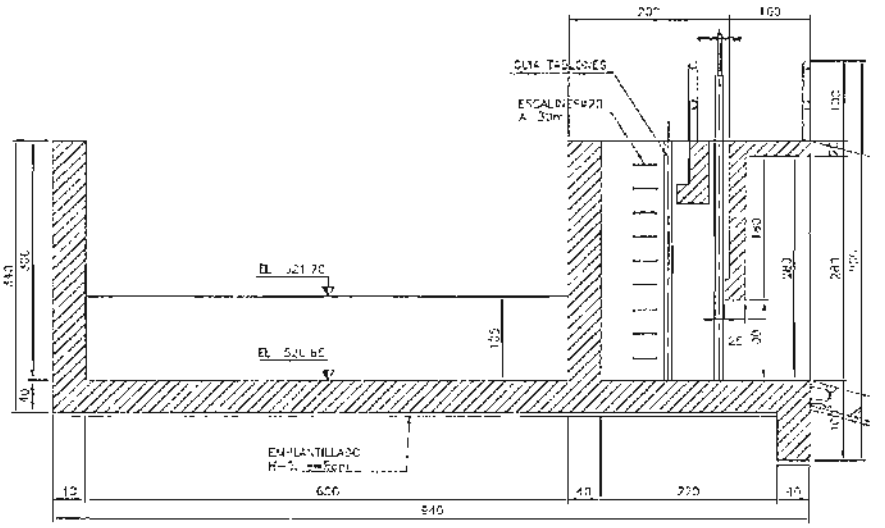


Figura 7 perfil transversal bocatoma

Dada la geometría, se aprecia que la losa de 6 metros es la que se encuentra más solicitada. Por lo tanto, al ser la condición más desfavorable, se procederá a estimar la cuantía necesaria de acero.

6.1 Consideraciones para el cálculo

La losa a calcular, se trabajará bajo las siguientes consideraciones:

- Condición de empotramiento perfecto, cuyo momento máximo es $M\max = \frac{ql^2}{12}$, como lo muestra la Figura 5.
- Carga de agua máxima de altura 3.4, considerando un peso unitario del agua $\gamma w = 1\frac{ton}{m^3}$.
- Espesor de la losa, según plano.
- Las dimensiones serán en base a un ancho de un metro unitario.

6.2 Estimaciones de cuantías de acero

Teniendo presente las consideraciones anteriores, se procede a realizar la estimaciones de cuantías de acero necesarias por unidad de metro cubico de hormigón para esta obra en particular.

altura agua	3.4	m
ancho b (unitario)	1	m
espesor losa, e	0,4	m
(1) carga de agua	3.4	ton/m
(2) peso hormigón	1	ton/m
Suma (1)+(2)	4.4	ton/m
largo	6	m
M máx.	**13.2**	Ton m
Mu= 1,4 M máx.	18.5	Ton m
Recubrimiento, r	5	cm
fc'	200	kg/cm^2
fy	4200	kg/cm^2
d= e-r	35	cm
As	14.8	cm^2

Donde:

fc' : Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días en kg/cm^2.

fy: Resistencia a la tracción del acero en kg/cm^2.

d = distancia útil.

b = ancho unitario.

Mu = momento ultimo mayorado.

As = área de acero a ocupar en unidades de cm^2 por metro

Luego, se tiene un área de 14.8 cm^2 de acero por metro lineal. Ahora bien, multiplicando los largos de los fierros por el área mencionada y además ponderando por el peso unitario de este material el cual es 7800 kg $/m^3$, todo esto para una unidad de metro cúbico de hormigón, se tiene una relación de 100 kg de acero $/m^3$ de hormigón.

Con respecto al corte se tiene que el máximo está definido como $\frac{ql}{2}$, el cual arroja un corte máximo de 6 toneladas (ya mayorado). Para este valor, el hormigón por si solo resiste este corte, por lo tanto se hace necesario la colocación de la enfierradura mínima para este caso. Finalmente, el total aproximado de kg. de acero por metro cúbico de hormigón, considerando la armadura a flexión y corte, es de 100 kg/m^3.

7 RESUMEN DE RESULTADOS

En la siguiente tabla se presenta los resultados de las estimaciones de cuantías de acero por unidad de metro cubico de hormigón para las distintas obras calculadas.

Obra	Cuantía (kg/m3)
Descargas	50
Cámaras de inspección	50
Bocatoma	100

8 BIBLIOGRAFÍA

- AISC 2005, Specification for structural Steel Buildings
- ICHA, Manual del Instituto Chileno del Acero. Especificaciones para el cálculo, fabricación y construcción de estructuras de acero.
- Hidalgo P., Ridell R. Diseño estructural. Ediciones UC, Santiago de Chile (2010)
- NCh 433. Diseño sísmico de edificios.

ANEXO 7-15

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO OBRAS PRINCIPALES MCH CATEMU

PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO DE CANALES ARRIBA DE CATEMU, ABAJO CATEMU Y PEPINO, SEGUNDA SECCION RIO ACONCAGUA

ANEXO 7-15

MEMORIA DE CÁLCULO
DISEÑO HIDRÁULICO OBRAS PRINCIPALES
MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA CATEMU
PREFACTIBILIDAD

Revisión	Preparó	Revisó	Aprobó	Fecha	Observaciones
E	CMH	JGB	JMS	06-03-12	Versión Final

MEMORIA DE CALCULO HIDRAULICO OBRAS PRINCIPALES

MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA CATEMU

PREFACTIBILIDAD

1. GENERALIDADES

La presente memoria de cálculo hidráulico muestra el diseño de la tubería de presión de la MCH Catemu, que se ubicará en un sector entre el canal arriba de Catemu y la ruta E-615

El diseño contempla el uso de 13,0 [m^3/s] de agua como caudal de diseño. El cual será conducido mediante dos tuberías de acero: de 1,8 [m] y 1,4 [m] de diámetro. Estas tuberías se proyectan desde la cámara de carga (CC) hasta la casa de maquinas (CM) con una longitud de 122 [m].

2. CRITERIOS DE DISEÑO

2.1 El diseño de las tuberías de presión consideran caudales de **8,7 [m^3/s]** y **4,3 [m^3/s]**, respectivamente.

2.2 Se consideran dos tuberías de acero nuevo y sin recubrimiento.

2.3 Se considera para tuberías un coeficiente de rugosidad absoluta **e = 0,045**, mientras que el coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams C_H **= 145**

2.4 La velocidad máxima admisible en una tubería de acero no debe ser mayor a **5 [m/s]**.

2.4 El diámetro de la tubería debe ser tal que las pérdidas de carga estén dentro de un 5% de la altura total disponible.

2.5 El trazado de la tubería debe evitar giros bruscos, a objeto de disminuir al mínimo posible las pérdidas de carga singulares. Además esto permite que los dados de anclaje tengan menor volumen.

3. DESCRIPCIÓN DE OBRAS

Tuberías de presión

Corresponde a las tuberías que conducen las aguas desde la cámara de carga hasta la Casa de Máquinas, ubicada a **122 [m]** de distancia. Las tuberías estarán constituidas de un solo tramo materializado en acero.

4. DISEÑO HIDRÁULICO

4.1 Tubería de presión

4.1.1 Pérdidas de carga regulares

Existen diversos autores que proponen diferentes ecuaciones para estimar las pérdidas de carga regulares en tuberías de presión. En este caso se consideran dos ecuaciones ampliamente utilizadas: Darcy Weisbach y Hazen Williams

a) Darcy Weisbach

Este método permite evaluar las pérdidas en función del régimen que se presenta en el fluido a través del Número de Reynolds.

La expresión es la siguiente:

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_f: Pérdida de carga regular [m]
λ: Factor de fricción de Darcy-Weisbach.
v: Velocidad del flujo [m/s]
D: Diámetro de la tubería [m]
L: Largo de tubería [m]

El factor de fricción de Darcy Weisbach se obtiene del ábaco de Moody, el que relaciona el número de Reynolds con la rugosidad relativa de la tubería. Estos términos son detallados a continuación:

Número de Reynolds:

$$N_R = \frac{\rho D V}{\mu} = \frac{DV}{\nu}$$

Donde:

ρ: Densidad del fluido [kg/m^3]
D: Diámetro de tubería [m]
V: Velocidad del flujo [m/s]
μ: Coeficiente de viscosidad del líquido [kg/m*s]
ν: Viscosidad cinemática del fluido [m^2/s]

Para este proyecto se obtiene un Reynolds de **6,15 x 10^6** para la tubería de 1,8 [m] de diámetro y un Reynolds de **3,91 x 10^6** para la tubería de 1,4 [m] de diámetro.

Rugosidad relativa:

$$e = r / D$$

Donde:

e: Rugosidad relativa
r: Rugosidad [mm]
D: Diámetro de tubería [m]

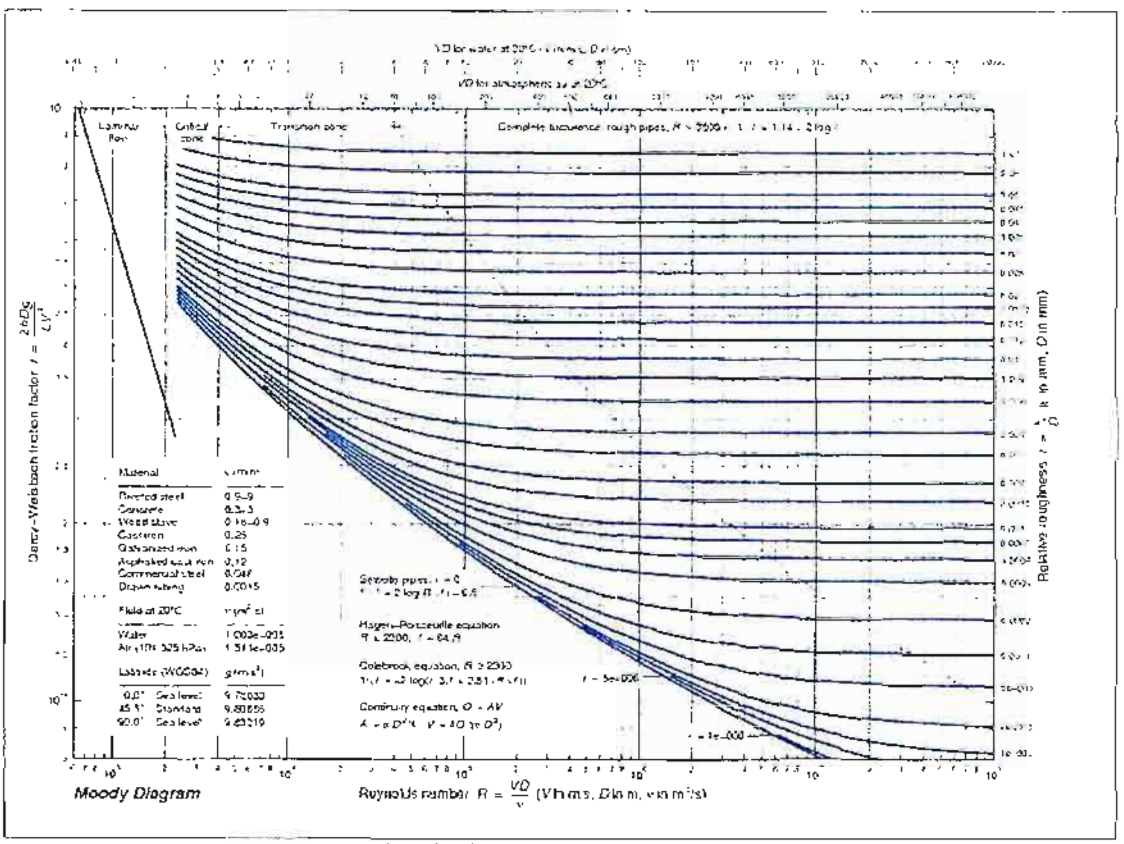


Fig. 1 - Diagrama de Moody

b) Hazen Williams

La ecuación es la siguiente:

$$h_f = \frac{6.78L}{D^{1.165}}\left(\frac{V}{C}\right)^{1.85}$$

Donde:

h_f: Pérdida de carga [m]
L: Longitud de tubería [m]
V: Velocidad del flujo [m/s]
D: Diámetro tubería [m]
C: Coeficiente de Hazen Williams

4.1.2 Resumen pérdidas regulares

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos tanto por la formulación de Hazen Williams y Darcy Weisbach para la tubería de 1,8 y 1,4 [m] de diámetro.

Tabla 1- Pérdidas de carga regulares

PERDIDAS DE CARGA FRICCIONALES
Penstock PCH Catemu
Datos del Flujo

Caudal	4.3	m3/s
Diametro Tuberia	1.4	m
f (ec. D-W)	0.0108	
C (ec H-W)	145	
Longitud Tuberia	121.58	m

Resultados

Pérdidas de Carga

D-W (m)	H-W (m)
0.37	0.37

Velocidad del Flujo

V	2.79	(m/s)

PERDIDAS DE CARGA FRICCIONALES
Penstock PCH Catemu
Datos del Flujo

Caudal	8.7	m3/s
Diametro Tuberia	1.8	m
f (ec. D-W)	0.0102	
C (ec. H-W)	145	
Longitud Tuberia	121.58	m

Resultados

Pérdidas de Carga

D-W (m)	H-W (m)
0.41	0.40

Velocidad del Flujo

V	3.42	(m/s)

Se puede ver que ambos autores arrojan valores similares, por lo que se considera que la perdida de carga considerada para las tuberías de 1,4[m] y 1,8[m] de diámetro son **0,37[m]** y **0,41[m]** respectivamente.

4.1.3 Pérdidas de Carga Singulares

Las pérdidas singulares se evalúan de acuerdo a la siguiente expresión

$$h_c = K_c \left(\frac{V_2^2}{2g} \right)$$

Donde:

h_c: Pérdida de carga singular [m]
K_c: Coeficiente que depende del tipo de singularidad.
V_2: Velocidad del flujo en el conducto [m/s]
g: Aceleración de gravedad = 9,8 [m/s^2]

Como la velocidad se mantiene constante en las tuberías llenas, el problema para evaluar las pérdidas singulares consiste en estimar de buena manera el K_c.

ESHA (European Small Hydropower Association) recomienda utilizar el siguiente diagrama para estimar el valor de K_c (denominado K_b en esta publicación) para codos de 90 °, como se observa a continuación,

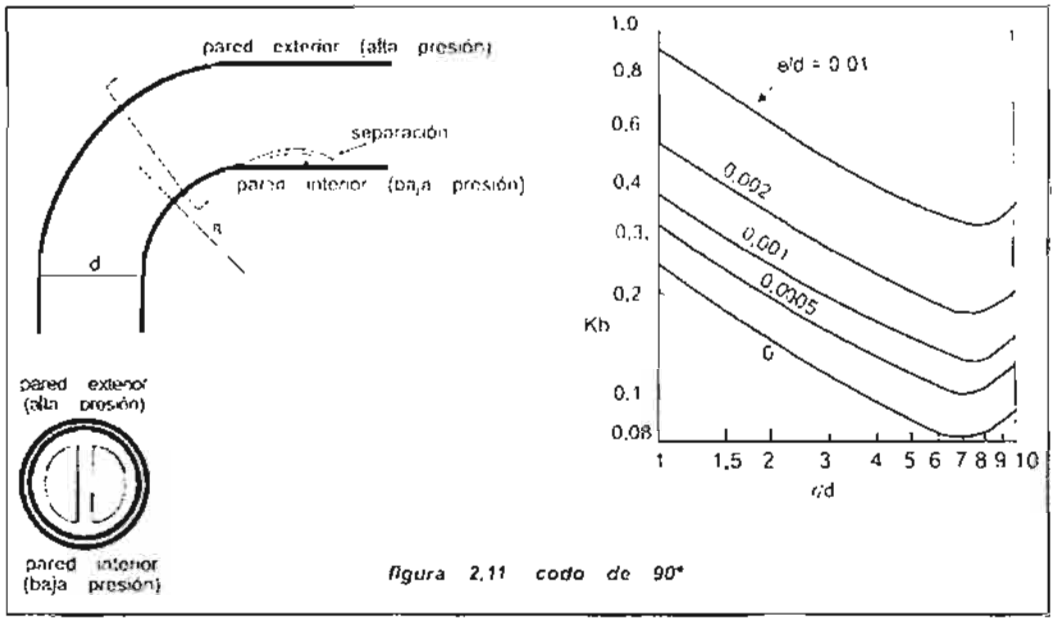


Fig. 2 - Diagrama de valores de K_c para codos de 90°

Este diagrama relaciona la rugosidad relativa, e/d, con la relación entre el radio de curvatura y el diámetro de la tubería.

Para el caso en análisis

e	=	0,6	[mm]
d	=	1.000	[mm]
e/d	=	0,0006	
r	=	6.000	[mm]
r/d	=	6	

Por lo tanto según este diagrama K_c = 0,14 para un codo de 90°. Además si se considera que el valor de K_c para ángulos entre 0° y 90° es lineal, se tomará el siguiente rango de valores para los diferentes codos presentes en la línea; clasificándolos en bruscos, medios, bajos y muy bajos, como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2 - Valores de K_c para diferentes ángulos de curvatura en tubería

	Angulo a			Kc
Bruscos	45	< a <=	90	0.140
Medios	22.5	< a <=	45	0.070
Bajos	11	<= a <=	22.5	0.035
Muy Bajos	0	<= a <=	11	0.018

En las siguientes tablas se muestran los ángulos de curvatura de la tubería forzada y se muestran las pérdidas de carga asociadas a estas.

Tabla 3 - Pérdidas de carga singulares en tubería de 1,4 [m] de diámetro

PÉRDIDAS DE CARGA SINGULARES

PROYECTO	Penstock PCH Catemu
FECHA	2/23/2012

Datos

Q	4.3	[m3/s]
Diametro Tubería	1.4	[m]
Velocidad	2.79	[m/s]

Cálculos

Cambio de Dirección	Ángulo	Kc	Pérdida de Carga [m]
1	38.5	0.07	0.028
2	38.5	0.07	0.028
3	32.4	0.07	0.028
4	21.98	0.035	0.014
5	21.98	0.035	0.014
6	76.2	0.14	0.056
			0.167

Tabla 4 - Pérdidas de carga singulares en tubería de 1,80 [m] de diámetro

PÉRDIDAS DE CARGA SINGULARES

PROYECTO Penstock PCH Catemu
FECHA 2/23/2012

Datos

Q	8.7	[m3/s]
Diametro Tubería	1.8	[m]
Velocidad	3.42	[m/s]

Cálculos

Cambio de Dirección	Ángulo	Kc	Pérdida de Carga [m]
1	38.5	0.07	0.028
2	38.5	0.07	0.028
3	32.4	0.07	0.028
4	21.98	0.035	0.014
5	21.98	0.035	0.014
6	76.2	0.14	0.056
			0.167

4.1.4 *Pérdidas de carga totales en tubería de presión*

Asumiendo las pérdidas de carga regulares mayores calculadas por Hazen- Williams y las pérdidas singulares, se obtiene las pérdidas de carga totales:

$$P_t = P_r + P_s$$

Donde:

P_t: Pérdidas de carga totales [m]
P_r: Pérdidas de carga regulares [m]
P_s: Pérdidas de carga singulares [m]

De esta forma, las pérdidas totales por cada tubería son:

$$Pt_{(tubería\ \Phi=1,4[m])} = 0,37[m] + 0,167[m] = 0,54\ [m]$$

$$Pt_{(tubería\ \Phi=1,8[m])} = 0,41\ [m] + 0,167\ [m] = 0,58\ [m]$$

Para este proyecto se considera que la máxima perdida de carga corresponde a **0,60 [m]**, la cual ocurre en la conducción de 1,8[m] de diámetro.

4.2 Diseño preliminar desarenador

Este desarenador, se diseña para lograr sedimentar partículas de hasta 0.3 [mm] de diámetro, por lo que presenta pendiente fuerte en el fondo para lograr evacuar el sedimento cuando se abre la compuerta de alivio. Pero en su sección no se da un flujo de torrente, pues al final del desarenador se proyecta una grada que peralta el flujo permitiendo un escurrimiento de río.

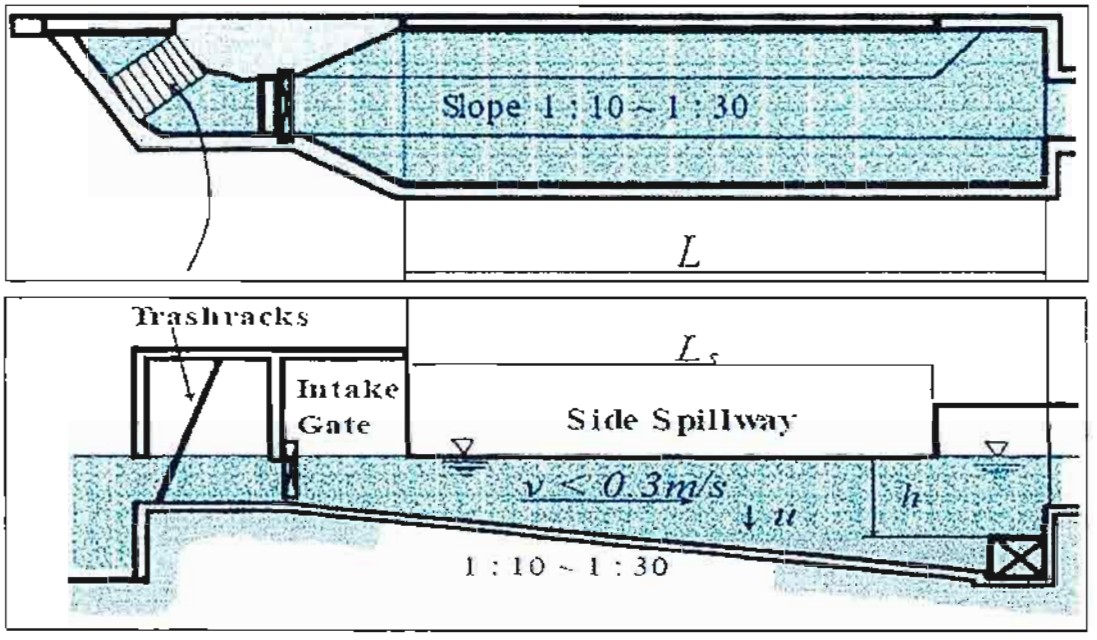


Fig. 3– Dimensiones características de un desarenador

Como el flujo es lento y no presenta turbulencias se puede utilizar el análisis simplificado para desarenadores, el que se expresa a través de la siguiente ecuación,

$$L \geq \frac{?}{B * V_d}$$

Donde:

L:	Longitud del desarenador [m]
h:	Altura de sedimentación [m]
vs:	Velocidad de sedimentación de partículas [m/s]

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para el diseño del desarenador.

Tabla 5 – Dimensionamiento desarenador.

DISEÑO DE DESARENADOR		
DATOS		
Caudal Q	13	[m3/s]
Ancho Desarenador B	10	[m]
Altura de Escurrimiento h	4.5	[m]
Tamaño Partícula	0.3	[mm]
Velocidad Sedimentación vs	0.035	[m/s]
Velocidad del Flujo	0.29	[m/s]
TEORÍA SIMPLE DE SEDIMENTACIÓN (no considera flujo turbulento)		
L	37.14	[m]

De este análisis se obtiene que la longitud mínima que logra sedimentar las particulas consideradas en el desarenador es de **40 [m]**. Las dimensiones del desarenador considerado en este proyecto son:

Largo: 100 [m]
Ancho: 12 [m]
Alto: 4,5 [m] inicio y 14,5 [m] final

4.3 Vertedero de Seguridad

El vertedero lateral en la cámara de carga debe ser capaz de mitigar las ondas transientes que ocurren durante un rechazo de carga, y para pasar el caudal de diseño en el caso de mantenimiento y/o falla de componentes eléctricos y/o mecánicos en la central.

El rechazo de carga se calcula para un caudal de 13.000 [l/s], que es el caudal máximo que debe transporta el canal y que se debe evacuar al estanque de salida de las turbinas en CM

La descarga está dada por.

$$Q_{vertedero} = 1{,}84 * B * H^{3/2}$$

Siendo;

$Q_{vertedero}$: caudal vertido sobre muro de pared ancha, en [m^3/s]
B : ancho del vertedero, en [m]

El valor para B es de 40,0 [m], por lo que reemplazando el caudal, se obtiene un pelo de agua por el muro de 0,33 [m].

En el plano de emplazamiento se puede ver que el vertedero tiene un alto de 0,50 [m], y un ancho de 42,0 [m].

Aguas abajo del vertedero, en el rápido de descarga se han localizado disipadores en toda la extensión del canal intercalado a lo ancho y dispuestos alternados por cada hilera, por la gran pendiente de la ladera.

4.4 Cámara de Carga

La cámara de carga puede ser diseñada de acuerdo a los criterios de Tiempo de Residencia, Sumergencia y Supresión de Turbulencia.

Se considera que el volumen debiera estar dimensionado para que el tiempo de residencia sea como mínimo de 120 [s] (2 minutos) como mínimo y 180 [s] como máximo (3 minutos).

En consecuencia, se tiene:

$$V > 120\ [s] * Q\ [m^3/s]$$

Reemplazando se obtiene:

$$V > 120 * 13{,}0 = 1.560\ [m^3]$$

En su interior, la cámara de carga tiene un ancho de 19,8 [m] y una sección transversal de 100 [m^2], por lo que el volumen de ésta resulta de:

$$V_{\text{Cámara de Carga}} = 100 * 19{,}8 = 1.980\ [m^3]$$

Luego el tiempo de residencia de la Cámara de Carga es 1980 /13,0 = **152 [s]**

Por tanto, el dimensionado de la Cámara de Carga cumple con los requerimientos de tiempo de residencia para respuesta del gobernador hidráulico y el rango de respuesta del sensor de nivel para apertura/cierre de álabes.

Además de permitir un tiempo de residencia hidráulico adecuado, esta cámara de carga debe asegurar el paso del flujo abierto a uno presurizado en la tubería de presión. Para un diseño adecuado se debe inducir un comportamiento suave del flujo, con el objeto de evitar la formación de vórtices en la superficie del agua, pues este fenómeno produce los siguientes problemas:

- Introducción de aire en el escurrimiento, lo que provoca una emulsión de agua con aire y disminuye el peso específico del fluido.
- Las burbujas de aire desplazan agua y disminuyen el caudal real de agua.
- Aumento de las pérdidas de carga.

De esta forma se deben considerar los siguientes criterios:

- Sumergencia (h_t) adecuada.

- Condiciones de entrada a la tubería en lo posible simétricas.
- Evitar separación del flujo y formación de remolinos o vórtices.
- Evitar cambios bruscos de dirección.

Para encontrar la sumergencia mínima se utilizan las fórmulas de cuatro autores:

- Knauss : $h_t \geq D \cdot \left(1 + 2.3 \cdot \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}}\right)$
- Nagarkar : $h_t \geq 4.4 \cdot \left(V \cdot D^{0.50}\right)^{0.54}$
- Rohan : $h_t \geq 1.474 \cdot V^{0.46} \cdot D^{0.76}$
- Gordon : $h_t \geq c \cdot V \cdot \sqrt{D}$

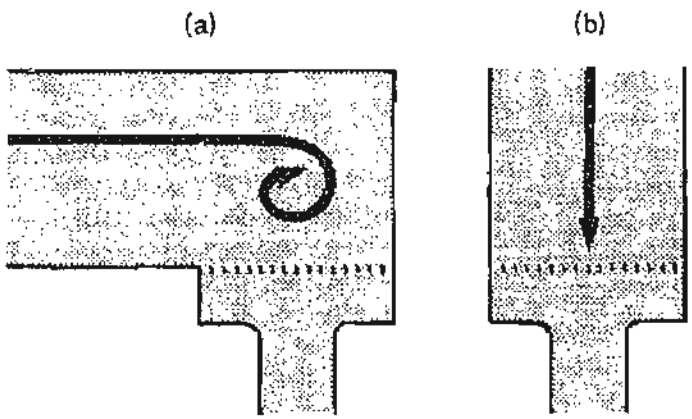
Donde:

D : Diámetro de la Tubería (m)
V : Velocidad del Flujo (m/s)
g : Aceleración de Gravedad

Con c = 0,73 para condiciones asimétricas de aproximación (para ecuación de Gordon)
c = 0,54 para condiciones simétricas de aproximación (para ecuación de Gordon)

En este caso, para el cálculo se han considerado condiciones asimétricas de aproximación

Fig. 4 - Aproximación del flujo a una toma en forma simétrica (a) y asimétrica (b)



Los resultados obtenidos para este caso se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 6 – Estimación de sumergencia mínima de tuberías en cámara de carga

Nivel de agua en Cámara de Carga

Proyecto	PCH Catemu	
Fecha	2/23/2012	
Datos		
Diametro Interno	1400	[mm]
	1.4	[m]
Q	15480	[m3/h]
	4.30	[m3/s]
V	2.79	[m/s]

Autor	ht	
Knauss	3.83	[m]
Nagarkar	6.39	[m]
Rohan	3.12	[m]
Gordon		
Cond. Asimetricas	2.39	[m]
Cond. Simetricas	1.80	[m]

Nivel de agua en Cámara de Carga

Proyecto	PCH Catemu	
Fecha	2/23/2012	
Datos		
Diametro Interno	1800	[mm]
	1.8	[m]
Q	31320	[m3/h]
	8.70	[m3/s]
V	3.42	[m/s]

Autor	ht	
Knauss	5.17	[m]
Nagarkar	10.02	[m]
Rohan	4.16	[m]
Gordon		
Cond. Asimetricas	3.32	[m]
Cond. Simetricas	2.49	[m]

De los resultados obtenidos, podemos ver que la formulación de Nagarkar presenta el resultado más conservador, por lo que este es el que arroja el resultado mayor. Dadas las condiciones de entrada del flujo a la tubería de presión y dadas las características topográficas del sector, se considera adecuado utilizar la formulación realizada por Gordon para condiciones asimétricas de entrada, de esta forma la altura mínima recomendada desde el pelo de agua en la cámara de carga hasta la clave de la tubería es de 3,32 [m]. En el proyecto en si contempla la instalación de dos tuberías desde la cámara de carga hasta la casa de maquinas por lo que se considera adecuado que la sumergencia sea de **6,4[m].**

4. 5 Diseño preliminar entregas a canales de riego Catemu bajo y Pepino

Se requiere entregar a los canales Catemu bajo y Pepino cuyos caudales máximos son de 1,25 [m^3/s] y de 0,46 [m^3/s], respectivamente. Para este requerimiento de agua se han hecho dos salidas en "Y" desde la tubería de 1400 [mm] que alimenta a una de las turbinas.

En el caso del canal Catemu bajo, la entrega será regulada con una válvula de globo automatizada con disco partido de DN 24"; la pérdida de carga es de 0,37 [bar] para el caudal de 1,25 [m^3/s], la cual se dispondrá en cámara protegida. Aguas abajo de cámara de la válvula se hará la entrega a una cámara que disipará y entregará al canal y en ello se hará en un tramo de a lo menos 20 m una obra de canal con sección trapezoidal (revestido en hormigón) con un aforador por altura crítica y regleta para medición por parte de los usuarios; se ha estimado que para un caudal de 1,25 [m^3/s], ancho base b = 1,00 y talud 0,50 (Z:1) la altura crítica de la grada será de 0,50[m].

En el caso del Canal Pepino, la entrega será regulada con una válvula de globo automatizada con disco partido de DN 20"; la pérdida de carga es de 0,22 [bar] para un caudal de 0,50 [m^3/s], la cual se dispondrá en cámara protegida. Aguas abajo de cámara de la válvula se hará la entrega a una cámara que disipará y entregará al canal y en ello se hará en un tramo de a lo menos 20 m una obra de canal con sección trapezoidal (revestido en hormigón) con un aforador por altura crítica y regleta para medición por parte de los usuarios; se ha estimado que para un caudal de 0,50 [m^3/s], ancho base b = 0,75 y talud 0,50 (Z:1) la altura critica de la grada será de 0,33[m].

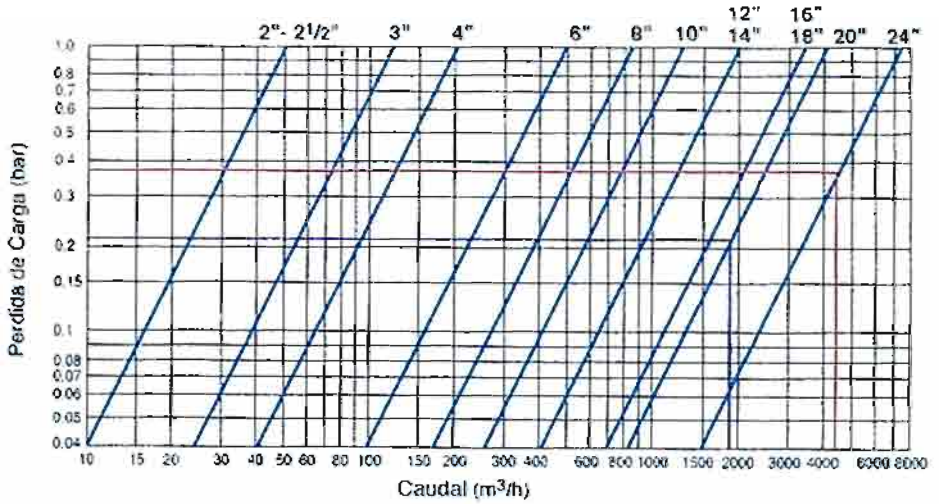


Fig. 5 - Gráfica selección válvulas (Bermad – Serie 700)

4.6 Diseño preliminar Canal de Excedencia para restitución a Estero Catemu

Los caudales de excedencia anteriores son evacuados a una estructura tipo estanque a un costado del desarenador y desde ahí se conduce por un canal en pendiente con disipador (dientes).

El canal de evacuación se proyecta trapezoidal revestido en hormigón, con pendientes estimadas de 0,040 [%] hacia el Estero Catemu. El canal que se requiere para evacuar el rechazo de carga a caudal máximo de porteo (13,0 [m^3/s]) sus dimensiones son de 5,0 [m] (ancho base) * 1,70 [m] (profundidad), la altura de agua es estimada en 1,53 [m], por lo que habrá una revancha similar de 17 - 20 [cm]; la velocidad de escurrimiento será de 1,5 [m/s].

Para este *análisis* se empleó el software HCanales y los resultados se presentan en la figura siguiente:

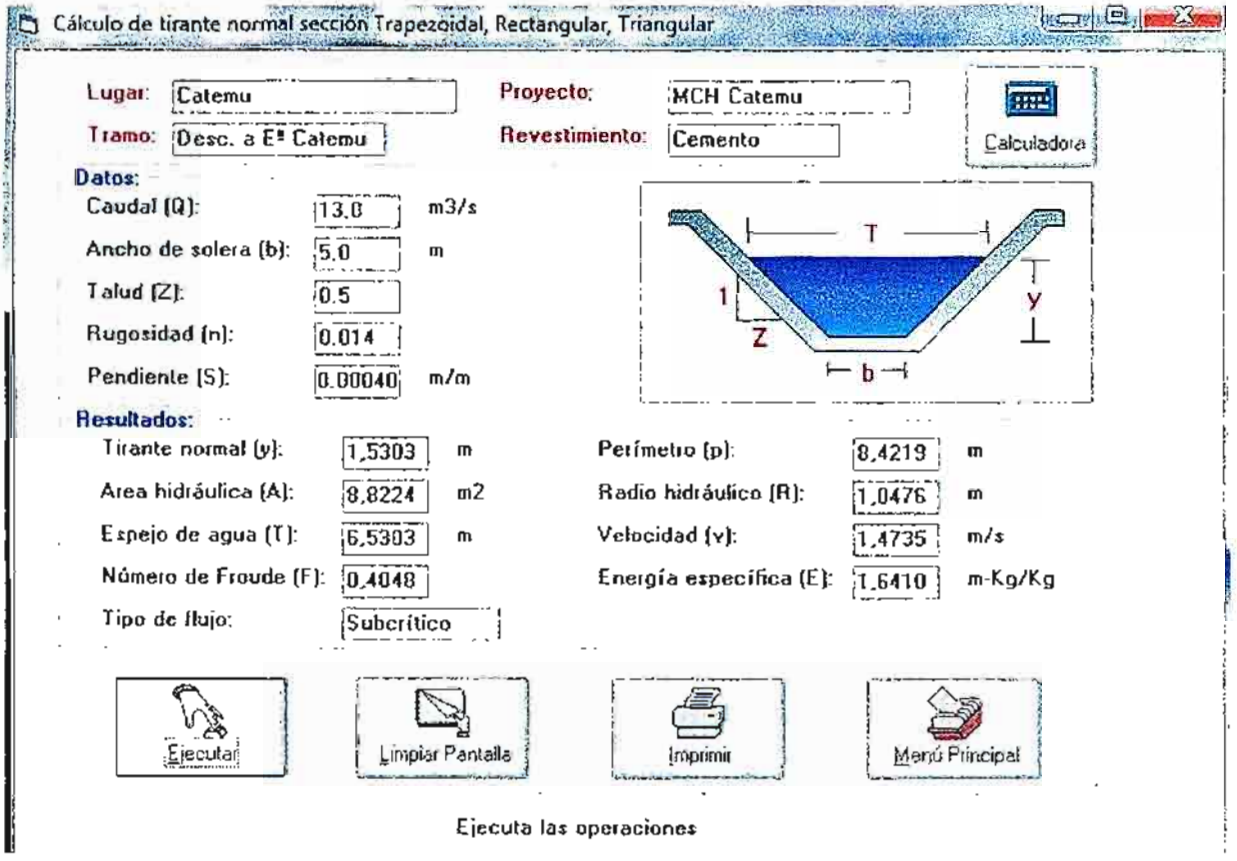
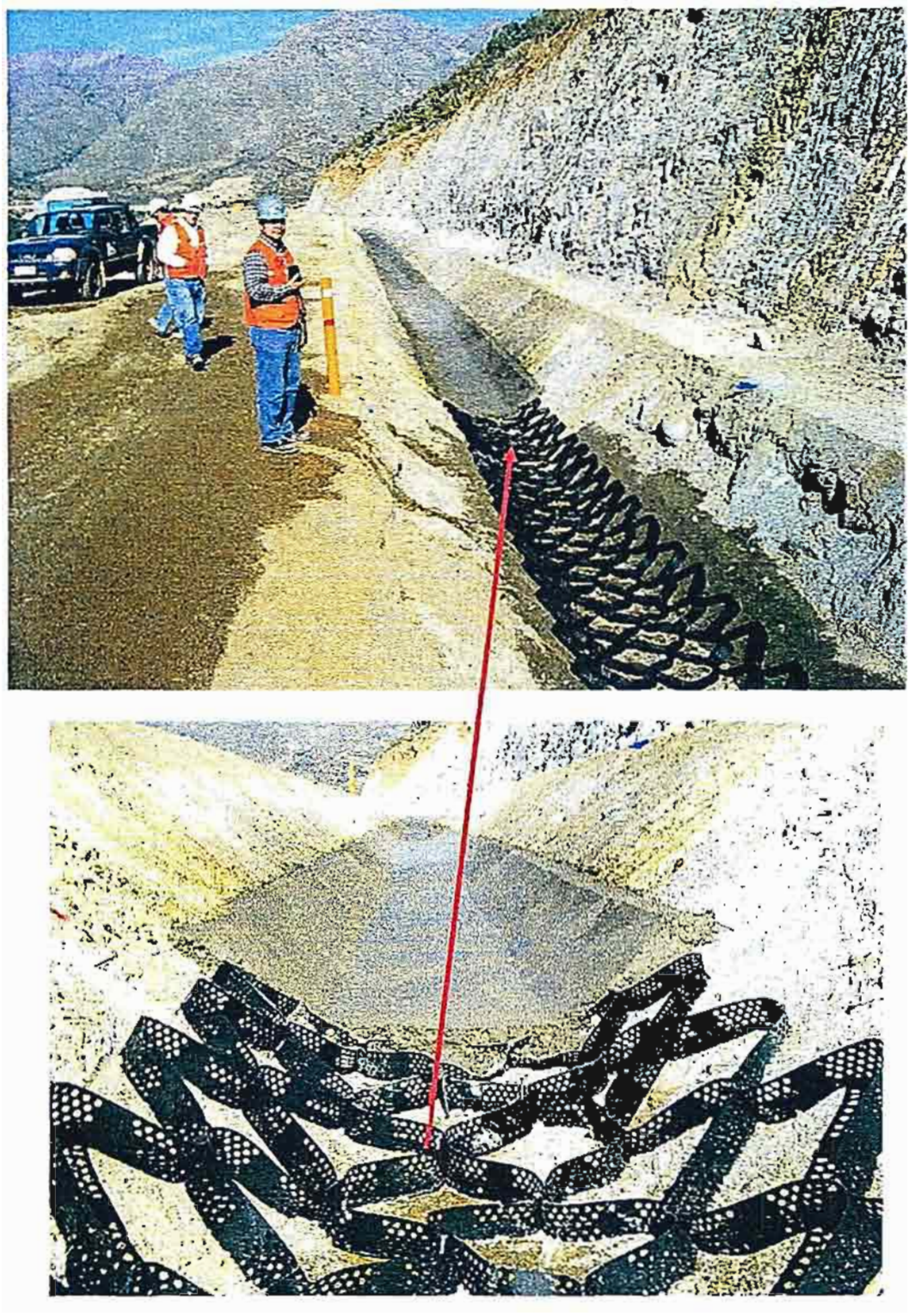


Figura 6 - Dimensionamiento canal de restitución.
Sección trapezoidal Q: 13, 0 [m^3/s], S: 0, 40 [m/km], n: 0,014

El canal trapezoidal de restitución al Estero Catemu será revestido en hormigón y construído con malla tipo Geoweb.

Fig. 7 – Ejemplo de canal en construcción con revestimiento de hormigon y Geoweb



5. CONCLUSIONES

5.1 La perdida de carga total, es decir, la suma de las pérdidas de carga regulares y singulares, en la tubería son de 0,60 [m], lo que implica que estas pérdidas no superan el 1% de la altura total disponible.

5.2 La velocidad promedio que alcanza el flujo dentro de las tuberías de carga están en el rango de 2,8 a 3,4 [m/s], la cual es menor a la velocidad máxima admisible para tuberías de acero.

5.3 Las pérdidas de carga calculadas se obtuvieron del eje altimétrico del trazado de la tubería.

5.4 El canal de evacuación proyectado es de sección trapezoidal revestido en hormigón, fue calculado con pendientes estimadas de 0,040 [%] para restituir los recursos de 13,0 [m^3/s]) en el Estero Catemu.

5.5 El desarenador, se diseñó para lograr sedimentar partículas de hasta 0,30 [mm] de diámetro; las dimensiones del mismo son 100 [m] (largo) * 12 [m] (ancho) * 4,5 [m] (alto).

5.6 El volúmen del estanque de carga se recomienda dimensionarlo con un tiempo de residencia de 120 [s] y se calculó para un tiempo de residencia mínimo de 152 [s], lo que dio como resultado un volúmen de 1.980 [m^3].

5.7 Todos los cálculos de dimensionamiento conforman prediseños para dimensionamiento de obras, cubicaciones y costos son a nivel de prefactibilidad de proyecto.

6. BIBLIOGRAFIA

La siguiente bibliografía fue revisada para efectos de este informe:

- "Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant", ESHA 2004.
- "Manual Minicentrales", ELECTROBRAS.
- "Manual de Hidráulica", Horace Williams King. Editorial: Grupo Noriega Editores.
- "Micro Hydropower Sourcebook", Allen Inversin. NRECA International Foundation.
- "Hydraulics", Prof. B.S. Thandaveswara. Indian Institute of Technology, Madras.
- Manual de Minicentrales Hidroeléctricas, ENDESA.

ANEXO 7-16

PLANILLAS DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA (DIGITAL)

ANEXO 7-17

PROCEDIMIENTO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA

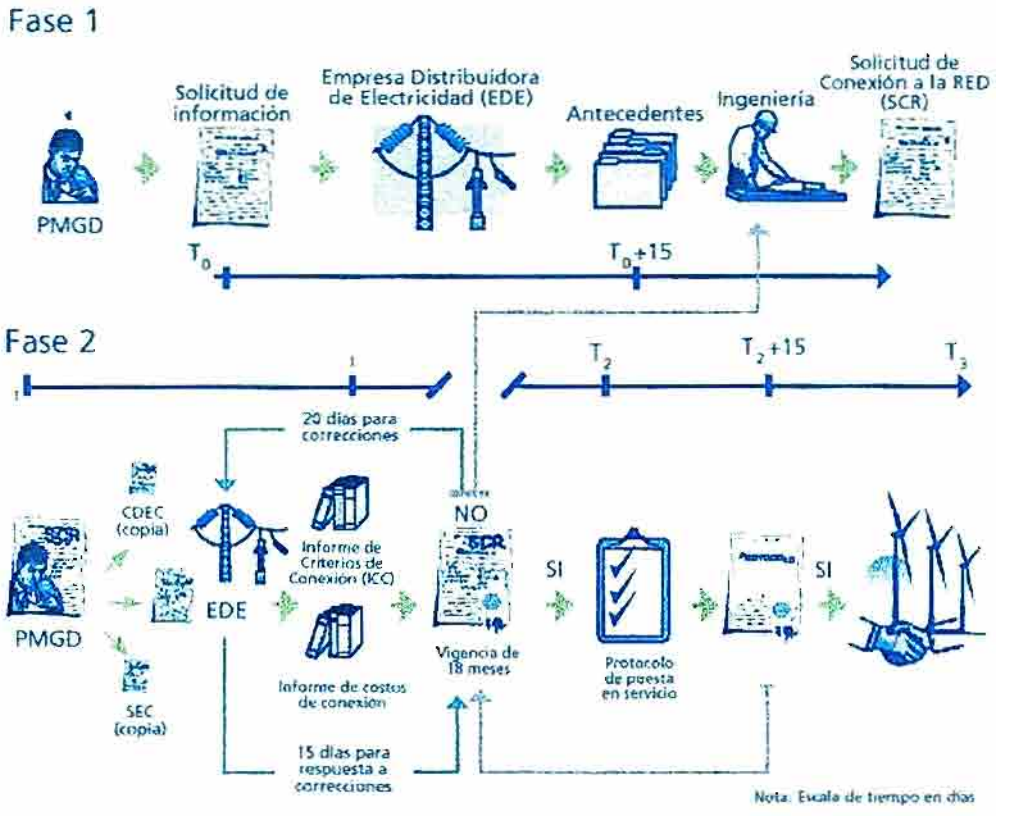
ANEXO 7-17
PROCEDIMIENTOS DE CONEXIÓN ELÉCTRICA

1.0 Procedimiento para conexión a redes de distribución

El siguiente procedimiento ha sido extraído del documento *"Las Energías Renovables no Convencionales en el Mercado Eléctrico Chileno"* Palma, R., Jiménez, G., Alarcón, I Proyecto Energías Renovables No Convencionales (CNE/GTZ) (2009), Santiago (Chile), 124 pp.

La Figura 1 muestra el procedimiento de conexión y puesta en servicio de un PMGD, sin ser necesaria una distinción entre ERNC y convencional.

Fig. 1 - Procedimiento de conexión y puesta en servicio de un PMGD



Fuente: Palma, R., Jiménez, G., Alarcón, I. "Las Energías Renovables no Convencionales en el Mercado Eléctrico Chileno" Proyecto Energías Renovables No Convencionales (CNE/GTZ) (2009), Santiago (Chile) 124 pp.

El procedimiento se puede diferenciar en dos fases principales las que se describen a continuación:

- **Fase 1**

Un interesado en conectar un PMGD a la red de media tensión de un sistema de distribución deberá informar por escrito su intención a la respectiva empresa distribuidora, adjuntando los antecedentes establecidos en la reglamentación vigente.

Dichos antecedentes deben ser entregados llenando la "Solicitud de Información de las Instalaciones". Una copia del formulario de solicitud de información con los antecedentes completos deberá ser remitida por el interesado a la SEC.

La empresa distribuidora proporcionará al interesado los antecedentes de sus instalaciones de distribución que resultan relevantes para el diseño y la operación del PMGD que solicita la conexión al sistema de distribución dentro de un plazo máximo de 15 días. Dichos antecedentes deberán contener:

1. Plano georeferenciado mostrando la identificación, características técnicas a lo largo del trazado y la ubicación de los puntos singulares del alimentador de distribución.
2. Los puntos singulares mínimos a identificar son: equipos de maniobra, equipos de interrupción, equipos de compensación, puntos de derivación, puntos donde se ubican otros equipos de protección, control y comunicaciones, y puntos de conexión de los usuarios del sistema de distribución (SD).
3. Las secciones y tipos de conductor existentes en cada segmento del trazado de la red de media tensión.
4. La demanda de diseño del alimentador en la cabecera.
5. Los proyectos de inversión relevantes que afectarán la información proporcionada sobre el alimentador, incluyendo ampliaciones o modificaciones de éste, para un horizonte de 18 meses, a partir de la fecha de solicitud de los antecedentes.
6. La capacidad de cortocircuito de la subestación que abastece al alimentador, calculada considerando las ampliaciones o modificaciones previstas en el número anterior. Una vez recibida la información de la empresa de distribución, el interesado puede desarrollar la ingeniería de su proyecto.

Concluida la determinación del punto de conexión al sistema y el desarrollo de la ingeniería respectiva, el interesado en el proyecto elaborará la Solicitud de Conexión a la Red (SCR). La SCR deberá contener como mínimo:

1. Plano de ubicación de las instalaciones, incluyendo la designación y límites del terreno.
2. Disposición y diagrama unilineal de todas las instalaciones eléctricas, con los datos de los equipos considerados, incluyendo posibles líneas y subestaciones en media tensión, de unión con el cliente mismo, longitudes de cables y líneas, esquemas de subestaciones.

3. Datos eléctricos de los transformadores que se emplearán en la conexión al SD.
4. Descripción de las protecciones, especificando tipo, fabricante, conexión y funciones.
5. Corriente de cortocircuito en el punto de conexión al SD de media tensión.
6. Descripción del tipo y forma operativa de la máquina motriz, generador y eventualmente inversor o convertidor de frecuencia, así como de la forma de conexión al SD, incluyendo hojas de datos y protocolos de pruebas.
7. En el caso de inversores y convertidores de frecuencia: protocolos de pruebas o antecedentes similares sobre las armónicas el caso de centrales eólicas: certificados, protocolos de pruebas o antecedentes similares sobre las características eléctricas.
8. Informe acerca del impacto del PMGD en el punto de repercusión asociado.
9. Información sobre controladores de frecuencia y voltaje, con sus rangos de operación, y del sistema de control y protecciones.

- **Fase 2**

Elaborada la Solicitud de Conexión a la Red (SCR), el interesado deberá presentaría ante la empresa distribuidora respectiva. Una copia de la SCR deberá ser enviada a la SEC y al CDEC que corresponda dentro de los 3 días siguientes a su presentación ante la empresa distribuidora. En un plazo máximo de dos meses contados desde la fecha de presentación de la SCR por parte del interesado, la empresa distribuidora deberá remitir, con copia a la SEC, los siguientes informes:

• ICC (Informe de Criterios de Conexión), donde manifieste el acuerdo o desacuerdo con lo consignado en la SCR presentada por un interesado o propietario de un PMGD. Este informe deberá contener los antecedentes técnicos que sustentan la posición de la empresa distribuidora.

• Adicionalmente, la empresa distribuidora podrá emitir un informe de costos de conexión, en el caso que desee justificar que los costos adicionales en las zonas adyacentes al PMGD son mayores a los ahorros por la operación de un PMGD. En la elaboración de los informes anteriores, la empresa distribuidora deberá considerar en todo momento los requerimientos necesarios para mantener los estándares de calidad de suministro en su red.

En caso de la no aceptación de la SCR por parte de la empresa distribuidora, el usuario deberá seleccionar otro punto de conexión y realizar una nueva ingeniería del proyecto. Si por el contrario existe disconformidad del interesado con los informes de la distribuidora, éste podrá presentar una solicitud de correcciones a dichos informes, en la cual incluya los antecedentes que fundamentan su disconformidad. Dicha solicitud deberá ser remitida tanto a la empresa distribuidora como a la SEC, en un plazo máximo de 20 días de recibidos los informes de parte de la empresa distribuidora. La empresa distribuidora deberá

responder a la SCR en un plazo no superior a 15 días corridos desde la fecha de su recepción, junto con el ICC y el informe de costos de conexión, los cuales deberán incorporar todas las modificaciones efectuadas a partir de los antecedentes presentados en la mencionada solicitud de correcciones. En el caso de ser aceptada la SCR, ésta tendrá una vigencia de 18 meses contados desde la recepción del ICC por parte del interesado o propietario de un PMGD. Antes del inicio de la operación sincronizada del PMGD, se deberá efectuar el Protocolo de Puesta en Servicio, el que se refiere al conjunto de pruebas de carácter técnico necesarias para aprobar la puesta en servicio de las instalaciones. Éste será remitido a la empresa distribuidora para su evaluación, la que deberá dar su conformidad en un plazo máximo de 15 días corridos desde la recepción del mismo.

Una vez realizado el Protocolo de Puesta en Servicio, definido en la NTCO, la empresa distribuidora podrá postergar la conexión del PMGD al SD en caso de que se verifique un incumplimiento de los antecedentes consignados en la SCR, sólo hasta que se corrija la situación que justifica la postergación. En caso de no adoptar la postergación señalada, la empresa respectiva lo comunicará por escrito al propietario del PMGD, con copia certificada a la SEC, indicando los elementos o sistemas que se encuentran en disconformidad de acuerdo a lo establecido en el protocolo.

Previo a la entrada en operación del PMGD, el propietario del PMGD deberá enviar a la SEC una copia del Protocolo de Puesta en Servicio, aceptado por la empresa correspondiente. Una vez cumplido lo anterior, el PMGD podrá iniciar su operación.

2. Procedimiento para conexión a sistema de transmisión

De forma paralela a las negociaciones privadas con las transmisoras, el desarrollador deberá seguir un procedimiento para conectarse con el sistema eléctrico que necesite. Al respecto debe considerar que para el acceso a la línea de los sistemas de transmisión se debe hacer la diferencia entre un sistema de transmisión adicional y un sistema de transmisión troncal o de sub-transmisión.

Sistemas de transmisión troncal y de sub-transmisión

Para este caso, las instalaciones "(...) están sometidas a un régimen de acceso abierto. Esto significa que pueden ser utilizadas por terceros bajo ciertas condiciones técnicas y económicas no discriminatorias entre todos los usuarios, a través del pago de la remuneración del sistema de transmisión (pago de peajes)."

Sistema de transmisión adicional

En estos sistemas solamente están sometidas a un régimen de acceso abierto las líneas que hacen uso de servidumbres y las que usan bienes nacionales de uso público como calles y vías públicas en su trazado. Sin perjuicio de lo anterior, el

transporte y los peajes asociados se definen por contratos privados entre las partes.

Exigencias técnicas para conexión

Por otra parte, "Las exigencias técnicas mínimas de conexión que deben cumplir todas las instalaciones eléctricas, incluidos generadores, líneas de transmisión, subestaciones, y de cualquier otro tipo, que se conecten a los sistemas de transmisión del SIC y SING se especifican en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NTS y CS)", norma que está disponible en el sitio web de la Comisión Nacional de Energía.
(http://www.cne.cl/cnewww/opencms/08_Normativas/Otros_Niveles/Electricidad/electr_norma_tecnica.html).

Procedimiento de Conexión

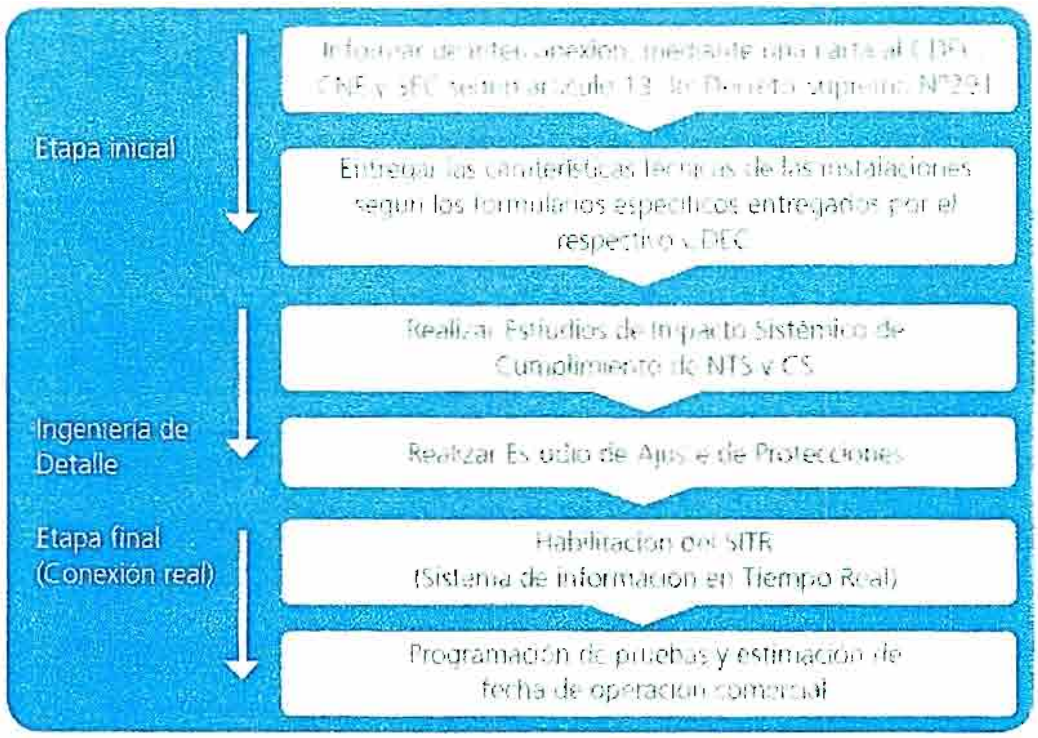
"De acuerdo al Decreto Supremo Nº 291, del Ministerio de Economía de 2008, que aprueba el Reglamento que establece la estructura, funcionamiento y financiamiento de los Centros de Despacho Económico de Carga, en el Artículo 13 se señala que toda unidad generadora deberá comunicar por escrito su interconexión al sistema, con una anticipación no inferior a 6 meses, tanto a la Comisión Nacional de Energía (CNE), la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), así como al Directorio y a la Dirección de Operación del CDEC correspondiente.

Adicionalmente, el artículo 12 de dicho reglamento indica que las unidades generadoras que se interconecten al sistema, deberán proporcionar toda la información que las Direcciones de cada CDEC soliciten (Dirección de Operación, Dirección de Peajes y Dirección de Administración y Presupuesto), en la forma y oportunidad que estas señalen. Puesto que los CDEC de cada sistema interconectado (SIC y SING) son independientes, los procedimientos y la información solicitada no necesariamente son coincidentes, sin embargo, apuntan siempre al cumplimiento de la normativa vigente y al mandato legal de cada CDEC, que obliga a mantener en todo momento una operación segura y la más económica posible de cada sistema interconectado".

El respectivo reglamento de los CDEC se promulgó en el Decreto Supremo N° 291, del Ministerio de Economía en 2008.

"En general, los requisitos básicos de conexión a cualquiera de los dos sistemas interconectados (SIC y SING) corresponden a una serie de estudios eléctricos, información técnica y formalidad administrativa que el solicitante debe presentar al CDEC correspondiente. La siguiente figura resume estos requisitos:

Fig. 2 - Etapas para conexión en sistema de transmisión



Fuente: Palma, R., Jiménez, G., Alarcón, I. "Las Energías Renovables no Convencionales en el Mercado Eléctrico Chileno" Proyecto Energías Renovables No Convencionales (CNE/GTZ) (2009), Santiago (Chile) 124 pp.

CDEC-SING

"En el caso del CDEC-SING, el procedimiento de la Dirección de Operación "Interconexión, Modificación y Retiro de instalaciones del SING", especifica los requerimientos técnicos, administrativos y operacionales para la coordinación de las actividades de interconexión a instalaciones del SING. Este procedimiento actualmente se encuentra en proceso de revisión y actualización para su aprobación por parte de la CNE."

Un buen apoyo de información es el sitio Web de esta entidad al cual se agrega un documento de gran valor que es el procedimiento de *"Interconexión, Modificación y Retiro de Instalaciones del SING"* junto con los formularios que el CDEC SING pone a disposición

Asimismo, este CDEC entrega los siguientes listados:

- Subestaciones
- Centrales generadoras
- Líneas de Transmisión

Centro de Despacho de Carga del Sistema Interconectado central (CDEC-SIC)

"El CDEC-SIC no tiene, al menos públicamente, un procedimiento análogo vigente, sólo se encuentra disponible el *"Manual de Procedimientos MP-05"*, que contiene los requerimientos de información para nuevas instalaciones que se conectan al SIC. Por otra parte, en su reglamento interno se indican los requerimientos generales expresados en la legislación eléctrica que deben cumplir quienes se conectan al sistema: la obligación de proporcionar toda la información técnica que las Direcciones soliciten, los antecedentes que demuestran el cumplimiento de la NTS y CS y a las condiciones de operación vigentes en la oportunidad de la incorporación de las instalaciones nuevas o de modificaciones de las existentes."

Un buen apoyo de información es el sitio Web de esta entidad y en el mismo lugar se puede encontrar, el reglamento interno del CDEC-SIC.

Consideraciones generales sobre los procedimientos

Si bien los estudios solicitados son siempre de similares características, las exigencias de conexión del CDEC correspondientes dependen de cada proyecto en particular, considerando principalmente los siguientes factores: punto de conexión en la red eléctrica, tipo de tecnología de generación, generación bruta máxima, capacidad y limitaciones de las instalaciones de transmisión (subestación de conexión al sistema y líneas de transmisión), características de estado de la zona de conexión (control de tensión), vulnerabilidades previstas en el sistema, ajuste de protecciones para la conexión, entre otros.