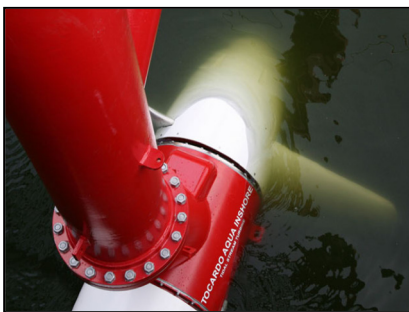


MANUAL PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE RIEGO CON FUENTES DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES – MICROHIDROS, A LOS CONCURSOS DE LA LEY N° 18.450



**Autor: Javier S. Gho Barba
Santiago, 12 de Mayo de 2015**

INDICE

		Contenido	Página
1.0		INTRODUCCION	1-1
2.0		ENFOQUE METODOLÓGICO	2-1
3.0		CARACTERIZACION Y MERCADO DE MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS	3-1
	3.1	Clasificación del tipo de instalación	3-1
	3.2	Componentes de la Instalación	3-4
	3.3	Tipos de Turbinas	3-6
	3.3.1	Turbinas de acción	3-8
		<i>Turbinas Pelton</i>	3-8
		<i>Turbinas Turgo</i>	3-9
		<i>Turbinas de Flujo Cruzado</i>	3-10
	3.3.2	Turbinas de reacción	3-12
		<i>Turbinas Francis</i>	3-13
		<i>Turbinas Deriaz</i>	3-16
		<i>Turbinas Kaplan</i>	3-16
		<i>Turbinas Semi-Kaplan</i>	3-18
		<i>Bombas como turbinas</i>	3-24
		<i>Turbinas por fuerza gravitacional</i>	3-26
		<i>Turbinas hidrocínéticas</i>	3-30
	3.4	Proveedores de Microcentrales Hidroeléctricas	3-31
4.0		SELECCION DE TURBINAS	4-1
	4.1	Por Rapidez Específica	4-1
	4.2	Por Diagrama con rangos de aplicación	4-4
	4.3	Eficiencia de turbina	4-6
5.0		DETERMINACION DEL POTENCIAL HIDRICO	5-1
	5.1	El ciclo hidrológico	5-1
	5.2	Análisis estadístico de la información hidrométrica	5-2
	5.2.1	Histograma de frecuencia de caudales	5-2
	5.2.2	Curva de Duración de Caudales	5-2
	5.2.3	Caracterización de una cuenca	5-5
	5.2.4	Información meteorológica (fluviométrica y/o pluviométrica)	5-9
	5.2.5	Medición de altura bruta	5-11
	5.2.6	Estimación de altura neta	5-22
	5.2.7	Medición de caudal	5-24
	5.3	Estimación de caudales máximos de crecidas con período de retorno	5-36
	5.3.1	Métodos establecidos en el Manual DGA	5-36
	5.3.2	Métodos estadísticos de estimación de crecida máxima	5-36
6.0		COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA MICROHIDRAULICO Y CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA MICROCENTRAL	6-1
	6.1	Obras Civiles	6-1
	6.1.1	Selección del sitio para bocatoma	6-1
	6.1.2	Tipos de bocatoma	6-5
	6.1.3	Desarenador	6-10
	6.1.4	Conducción a superficie libre (canal abierto)	6-15

		6.1.5	Conducción entubada a baja presión	6-24
		6.1.6	Cámara de Carga	6-27
		6.1.7	Rejas Finas	6-29
		6.1.8	Tubería de Presión	6-34
		6.1.9	Casa de Máquinas	6-42
	6.2		Tablero eléctrico de control, medición y protección	6-44
		6.2.1	Especificaciones generales	6-44
		6.2.2	Regulación de las microturbinas	6-47
		6.2.3	Malla de Puesta a Tierra	6-51
7.0			DIMENSIONADO DE LA INSTALACION	7-1
	7.1		Ecuaciones básicas	7-1
	7.2		Estimación de la Demanda de Energía (Riego)	7-2
	7.3		Estimación de la Producción de Energía	7-3
		7.3.1	Caudales medios mensuales (serie hidrológica)	7-3
		7.3.2	Información hidrológica	7-4
		7.3.3	Selección de caudal de diseño	7-5
		7.3.4	Selección de Turbina	7-6
		7.3.5	Estimación de Potencia Instalada, Generación Anual y Factor de Planta	7-8
	7.4		Cálculo de superficie de riego afecta por la generación hidroeléctrica	7-11
8.0			SISTEMAS HIBRIDOS	8-1
	8.1		Configuraciones Híbridas "Off-Grid"	8-1
	8.2		Configuraciones Híbridas "On-Grid"	8-4
	8.3		Sistemas de distribución a los consumos (monofásico versus trifásico)	8-8
	8.4		Proveedores de equipos	8-11
9.0			MARCO INSTITUCIONAL	9-1
	9.1		Permisos, Reglamentos y/o Normas	9-1
		9.1.1	Dirección General de Aguas (DGA)	9-1
		9.1.2	Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) y Ley 20.571 de Generación Distribuida	9-8
	9.2		Comisión Nacional de Riego (CNR)	9-11
		9.2.1	Requerimientos de presentación de proyectos a Ley 18.450	9-11
		9.2.2	Especificaciones Técnicas (EETT) para proyectos de microgeneración hidráulica complementarios a los proyectos de riego (Pauta para su Confección)	9-15
10.0			FACTORES CRITICOS PARA VIABILIDAD DE UNA MCH	10-1
11.0			GLOSARIO TECNICO	11-1
12.0			ANEXOS	

1.0 INTRODUCCIÓN

El Estado de Chile ha implementado en el sector agrícola la Ley 18.450 de Subsidio a Obras de Riego y Drenaje, siendo el organismo responsable de su implementación la Comisión Nacional de Riego (CNR), con ello se cumple el objetivo de bonificar el costo de estudios, construcción y rehabilitación de obras de riego o drenaje, así como de proyectos integrales de riego o drenaje que incorporen el concepto de uso multipropósito; inversiones en equipos y elementos de riego mecánico o de generación.

En el esquema de la Ley 18.450, la CNR ampliará su cobertura - mediante el llamado a concursos especiales - al fomento de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) y en particular de las pequeñas centrales hidroeléctricas cuya producción sea destinada al autoconsumo o para su utilización en la demanda eléctrica del equipamiento de riego mecánicos, lo que significa por una parte una tendencia moderna de generación y consumo en el sitio y por otra se enmarca dentro de las tendencias mundiales de maximización de uso de las ERNC, junto al uso de los combustibles convencionales y la mejor eficiencia de los procesos.

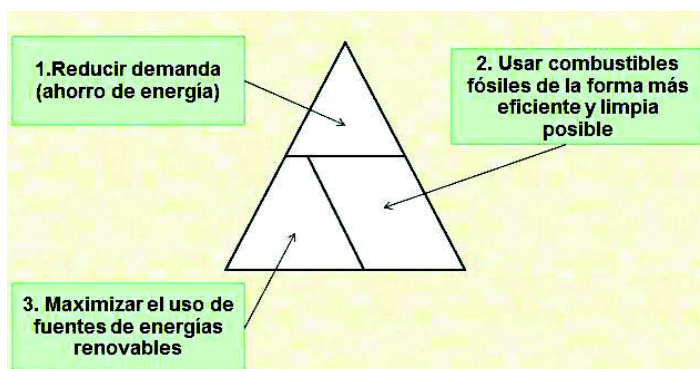


Fig. 1.1 - Esquema para el desarrollo energético en el siglo XXI

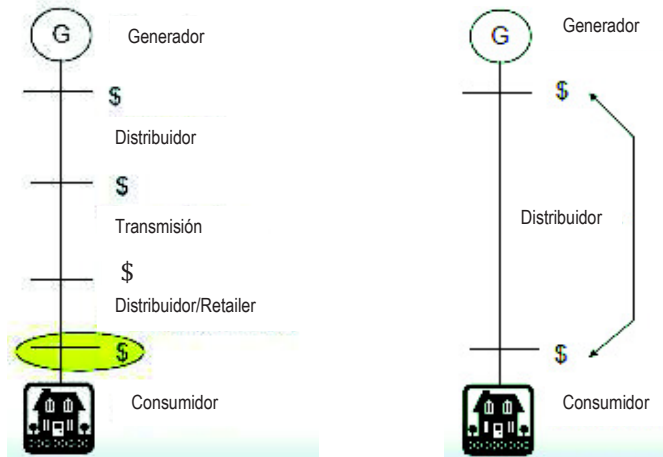
Fuente: Elaboración propia

En este marco el documento elaborado está destinado a servir como herramienta para el desarrollo de esquemas de generación hidroeléctrica en el esquema micro, esto es potencia instalada hasta 100 kW.

La búsqueda y desarrollo de soluciones energéticas económicamente viables para energizar sistemas de regadío en zonas rurales aisladas requiere en su concepción fundamentos sólidos para realizar el diseño y ello no es un des-escalamiento de centrales grandes a unidades de pequeño tamaño por lo que los fundamentos están contenidos en artículos, textos y experiencias de quienes los han desarrollado "desde abajo hacia arriba" y un buen ejemplo de ello lo constituye el uso difundido en la actualidad de los gobernadores del tipo "control electrónico de frecuencia".

Las localidades aisladas se caracterizan por encontrarse alejadas de las redes de distribución eléctrica y por sus variables y bajos consumos de energía. Por estas razones, la conexión a la red pública resulta muy costosa, por lo que la autogeneración se presenta como la solución más conveniente al sustituirse la clásica cadena de los sistemas interconectados ya que en estos sistemas autónomos se elimina la intermediación, lo que significa que hay independencia

energética al darse la dualidad productor y consumidor ("prosumidor"), es decir quién lo implemente de esta manera, es quién es a la vez el que consume y gestiona su propia generación.



- varios intermediarios entre generador y consumidor
- grandes distancias entre generador y consumidor
- implementación de mayor complejidad
- menos intermediarios entre generador y consumidor, es posible una empresa única
- pequeña red por la menor distancia entre generador y consumidor

Fig. 1.2 - Comparación entre un sistema convencional de generación con red interconectada on-grid (izquierda) y una solución del tipo isla off-grid (derecha).
Fuente: Powercorp Zimmermann, Juerguen et al. *"Smart Grids Demonstration in Isolated Systems"*, Smart Grid Workshop, Australia, 22 de Junio de 1999

En zonas donde no hay red eléctrica convencional el uso de generadores a gasolina o Diesel se hace muchas veces solo por razones de seguridad, ya que aun cuando sus costos de inversión inicial los hacen muy atractivos, los costos de operación y mantenimiento elevan considerablemente el valor de éstos, resultando más ventajoso el uso de sistemas no convencionales (generadores solares, eólicos y microhidráulicos), cuando éstos se evalúan durante el ciclo de vida del proyecto.

Desde el punto de vista del diseño todo sistema de generación con ERNC es un "matching" entre oferta (recurso renovable) y demanda (curva de carga) intermediado por un equipo conversor (tecnología). Por ejemplo, en los sistemas fotovoltaicos el diseño comprende el potencial del recurso solar en el sitio y la capacidad de conversión del panel conformado por módulos fotovoltaicos, lo cual confrontado con la demanda permite determinar ya sea la superficie requerida panel o bien el número de módulos que conformarán el panel; en los sistemas eólicos la distribución del recurso eólico como su frecuencia en un determinado tiempo (mes/año) es cruzada con la curva de potencia de la máquina eólica. En este caso, los sistemas microhidráulicos requieren que la distribución estadística de caudales determine la potencia de la turbina que acciona el generador la que luego multiplicada por el tiempo permite obtener la generación mensual o anual.

El autor - a partir de la experiencia - ha incluido un capítulo de recomendaciones para que tanto proyectistas como evaluadores tengan siempre presente los factores gravitantes que deben tener en cuenta en la decisión de emprender un proyecto de microcentral hidroeléctrica, ya que

si bien es una tecnología madura la sostenibilidad del mismo depende de muchos otros factores que deben ser considerados en el momento del diseño y de la operación futura en el contexto de zonas apartadas.

Tabla 1.1 - Categoría y parámetros a considerar para la sostenibilidad de un proyectos de minired con microcentral hidroeléctrica.

Categoría		Parámetros
1	Localización de la microcentral	a) Distancia a la línea eléctrica o sistema generador b) (proximidad a fuentes o generador en minired aislada) c) Distancia de transmisión al consumo d) Accesibilidad (camino) y topografía del terreno
2	Condiciones y requerimientos para empleo del recurso	a) Derechos de aprovechamiento constituidos b) Relación entre distancia captación y altura de carga c) Caudal y altura carga (distribución temporal) d) Rendimiento de la cuenca e) Terrenos afectos por la obra (servidumbres de paso, pendientes, suelos).
3	Productividad de los usos finales	a) Bombeo de agua b) Riego c) Usos productivos o industriales para aumentar Factor de Carga (frío, plantas de procesos agroindustriales) d) Actividades de comercio
4	Capacidad de pago	a) Disposición y capacidad de pago por el servicio b) Creación de fondo para operador y costos de operación y mantenimiento
5	Institucionalidad y posicionamiento de las ERNC en el Mercado Eléctrico	a) Venta de energía excedente b) Leyes y Reglamentación en el Sistema Eléctrico para pequeños generadores c) Instituciones (escuelas, postas) d) Apoyo organismos gubernamentales en sector agropecuario (financiamiento, créditos, otros) e) Apoyo de Organizaciones de desarrollo (ONG, voluntarios, etc.) y ambientalistas.
6	Seguridad	a) Vandalismo b) Robos

Fuente: Elaboración propia

Un aspecto fundamental también es que el aprendizaje en mini redes y electrificación rural está en países en vías de desarrollo y que existe una gran experiencia en países como Perú, Colombia, Bolivia, Laos, Vietnam, entre otros, en los cuales gran parte del desarrollo de la microgeneración hidráulica ha sido realizado por ONG's (ITDG, CINER, etc.) con apoyo de organizaciones de cooperación internacional (GIZ, ACDI/CIID, DANIDA, JICA, NorAid, etc.) involucrando a las comunidades, lo que garantiza en gran parte la sostenibilidad de los proyectos, por lo que el conocer estas experiencias ahorra tiempo y dinero en cualquier programa de implementación que se quiera emprender.

2.0 ENFOQUE METODOLOGICO

A nivel de generación hidroeléctrica en el rango micro (< 100 kW) el enfoque para el óptimo aprovechamiento del recurso se basa en confluencia de elementos básicos para llevar adelante un proyecto como son las condiciones del sitio, recursos, tecnología y organización, como se presentan en la Fig. 2.1



Fig. 2.1 – Elementos básicos para el desarrollo de un aprovechamiento hidroeléctrico

Por otra parte, el estado del arte de la tecnología de generación de microhidráulica requiere un buen conocimiento de las tecnologías disponibles, sus características y limitaciones (facilidad de montaje, disponibilidad, operación y mantenimiento, rangos de operación, eficiencias), impactos ambientales (contaminación visual y acústica, efecto sobre fauna, etc.), costos de las tecnologías disponibles, soporte técnico, cadena de suministro, etc. por lo que se entrega un catastro de la tecnología disponible a nivel comercial en el rango menor a 100 kW.

En síntesis para la micro generación se emplean tecnologías de turbinas del tipo Pelton o Turgo, Francis (pit y espiral), Flujo cruzado, Axial (tipo S, Bulbo) de alabes fijos y móviles (Kaplan), tubular, VLH, Bombas como turbinas (Pump - as - Turbines PAT), Gravitaciones (Tornillos de Arquímedes) e hidrocinéticas, considerándose que la recopilación comprende equipos en desarrollo comercial con probada suficiencia tecnológica.

El desarrollo metodológico del proyecto de una microcentral se ha simplificado y centrado en las etapas y los contenidos mínimos que ésta debiera comprender.

Las etapas de la metodología están relacionadas con las fichas de postulación de un proyecto que se han elaborado expresamente con la intención de realizar un Diagnóstico preliminar del sitio (Ficha 1) y de Prefactibilidad de proyecto (Ficha 2), ambas en Anexo 1.

Se excluye en la metodología la presentación y contenidos del proyecto de riego, que se deberá desarrollar en paralelo con el de la microcentral, con sus requerimientos propios, calendario de proceso y etapas ya establecidas por la CNR.

FASE 1 - Precalificación y requisitos para la presentación

Se entiende por tal el proceso de postulación de un proyecto a la Ley N° 18.450 a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje y los llamados a Concurso de ERNC dirigido a microcentrales hidroeléctricas. La ley referida - creada en 1985 - según el Artículo 1º, por intermedio de la Comisión Nacional de Riego, bonifica el costo de estudios, construcción y rehabilitación de obras de riego o drenaje y las inversiones en equipos y elementos de riego mecánico o de generación, siempre que se ejecuten para incrementar el área de riego, mejorar el abastecimiento de agua en superficies regadas en forma deficitaria, mejorar la calidad y la eficiencia de la aplicación del agua de riego o habilitar suelos agrícolas de mal drenaje.

A los concursos pueden postular personas naturales (pequeños productores agrícolas INDAP, pequeños y medianos empresarios agrícolas), personas jurídicas o Organizaciones de Usuarios constituidas (Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas, Comunidades de aguas y Comunidades de drenaje) y en proceso de constitución; los proyectos pueden ser individuales o colectivos, acreditando como mínimo agua y tierra en cada proyecto.

Un primer requisito del concurso ERNC focalizado en minicentrales de hidrogenación - potencia instalada hasta 100 kW - es que la generación tiene como objetivo suplir los requerimientos de un proyecto de riego asociado.

Un segundo requisito es que cumplidos los requisitos legales y administrativos - Carpeta Legal - el proyecto debe ser postulado a a través de un consultor inscrito en el Registro Público Nacional de Consultores CNR (registro.consultores@cnr.gob.cl), solicitándose la inscripción en el MOP Sólo se solicita la inscripción del consultor en el MOP en caso de proyectos con mayores exigencias definidos en el punto 11 de los “Manuales Técnicos de Obras Civiles”. Los proyectos se crean en el sistema electrónico de postulación a la Ley 18.450 y la postulación se realiza en forma digital.

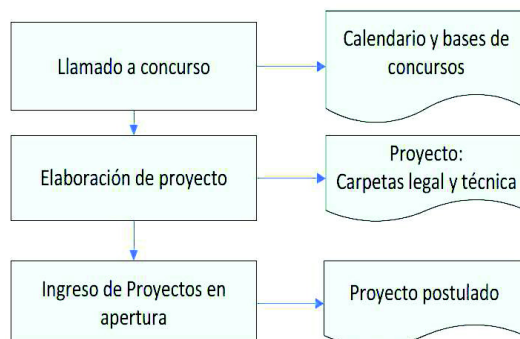


Fig. 2.2 - Proceso de postulación de un proyecto a concurso Ley de Riego 18.450

Una vez presentado un proyecto a concurso, este entra en proceso de revisión, cuyo objetivo es el de verificar la correcta determinación de las variables de concurso (costo, aporte y superficie), la viabilidad y consistencia del proyecto. Para las observaciones que surjan hay un plazo de 10 días hábiles para responder, los proyectos no seleccionados pueden ser repostulados. Para aquellos proyectos que son seleccionados se adjudica una bonificación y se emiten bonos a nombre del beneficiario del proyecto seleccionado.

FASE 2 - Diagnóstico preliminar de sitio

Esta etapa del proceso está relacionada con confección de la **Ficha 1** (Anexo1) cuya información permite determinar si el sitio es válido para poder seguir a una etapa posterior; este proceso no debería superar 2 -3 días en llegar a una conclusión definitiva respecto si el proyecto amerita el que continúe en el proceso hacia una prefactibilidad.

La ficha mencionada identifica al postulante con las características básicas del predio respecto de su proyecto de riego (localización, derechos, superficie, tipo de riego, disponibilidad de riego, distribución en planta, conducciones, estado, recursos y disponibilidad temporal para riego y generación) y de la localización de la central hidroeléctrica y obras asociadas (captación, restitución, distancias a consumo, caída conexión a red, entre otros), información que es respaldada por un registro fotográfico y un detalle del emplazamiento en carta IGM y/o Google Earth.

Hecho el levantamiento de terreno el proceso debe realizarse para llegar a definir los aspectos gruesos de un proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico:

- Existencia de una caída aprovechable en que es posible instalar una turbina
- Disponibilidad de un caudal para ser utilizado en el sector de la caída
- Derechos y permisos para extraer el caudal en uso no consuntivo para generación
- Estado de obras de arte y canales (capacidad de porteo, compuertas de control y regulación), puntos de extracciones que afectan la generación (legales e ilegales).
- Acceso apropiado y razonable al sitio para equipos y construcción
- Demanda del equipamiento electromecánico para riego (carga) a una distancia razonable o conexión a un costo razonable
- El proyecto hidroeléctrico no causa problemas o conflictos ambientales ni provoca problemas a terceros por el uso del recurso hídrico o de superficie de terreno.
 - Propietarios de terreno no se oponen o ceden terrenos a costos razonables
- Esquema de diseño y especificaciones con equipamiento comercialmente disponible
- Estimación de potencia instalada, estimación de energía anual y posible viabilidad o no de conexión.
- Listado aproximado de componentes para desarrollar el esquema hidroeléctrico.

Vistos y analizados los puntos indicados debiera definirse el paso a la etapa posterior de prefactibilidad, o bien descartar el sitio.

FASE 3 - Prefactibilidad de Proyecto

Esta etapa del proceso está relacionada con una visita a terreno para desarrollar la **Ficha 2** (Anexo 1) cuya información recopila datos con mayor precisión y profundidad que la etapa anterior.

La información técnica levantada en terreno define para el tipo de instalación (de paso o con acumulación) los caudales y la disponibilidad del recurso, caracteriza la demanda directa (riego) e indirecta (domésticos, industriales, agrícolas, etc), la forma de conexión (on-grid , off-grid) , caracterización completa del sistema de riego existente o a implementar (situación sin proyecto y con proyecto) y una entrevista al usuario con un cuestionario cuyo objetivo es la definición clara de la "idea de proyecto" y su factibilidad en las condiciones del sitio y de los requerimientos productivos.

Con la información anterior es posible definir a mayor profundidad los siguientes aspectos:

- Sustento hidrológico

Los Derechos de Aprovechamiento, usos y costumbres del agua, la información que proporcionen los usuarios o los administradores del canal permiten definir el comportamiento del mismo, los caudales aprovechables, caudales de reserva (ecológico u otros usos) del recurso para definir caudales medios mensuales, máximo o mínimos en temporada y una Curva de Duración de Caudales preliminar.

En la visita deben identificarse puntos de medición (secciones de aforo) e información de mediciones históricas que se tengan.

- Potencia instalada, generación y superficie afecta.

Con la información hidrológica preliminar (caudales en canales, pérdidas hidráulicas estimadas, alturas de operación, eficiencias de conducción) y fórmulas de cálculo de puede obtenerse un valor estimado de potencia y generación de la instalación y la superficie de riego afecta

- Diseño preliminar de la central

Esto debiera incluir un layout preliminar de obras (dibujo) que comprenda:

- Obras civiles (bocatoma y vertedero, canal de toma, tubería, Casa de Máquinas, canal de restitución, acceso al sitio, detalles gruesos de construcción)
- Equipamiento Electromecánico (turbina, transmisión, generador, sistema de control) e instalaciones accesorias.
- Punto de conexión (Punto de alimentación a impulsión mecánica del sistema de riego)

En la Figura 2.3 se presenta esquema de instalación típico para una central de flujo cruzado en un canal de riego, a nivel de prefactibilidad.

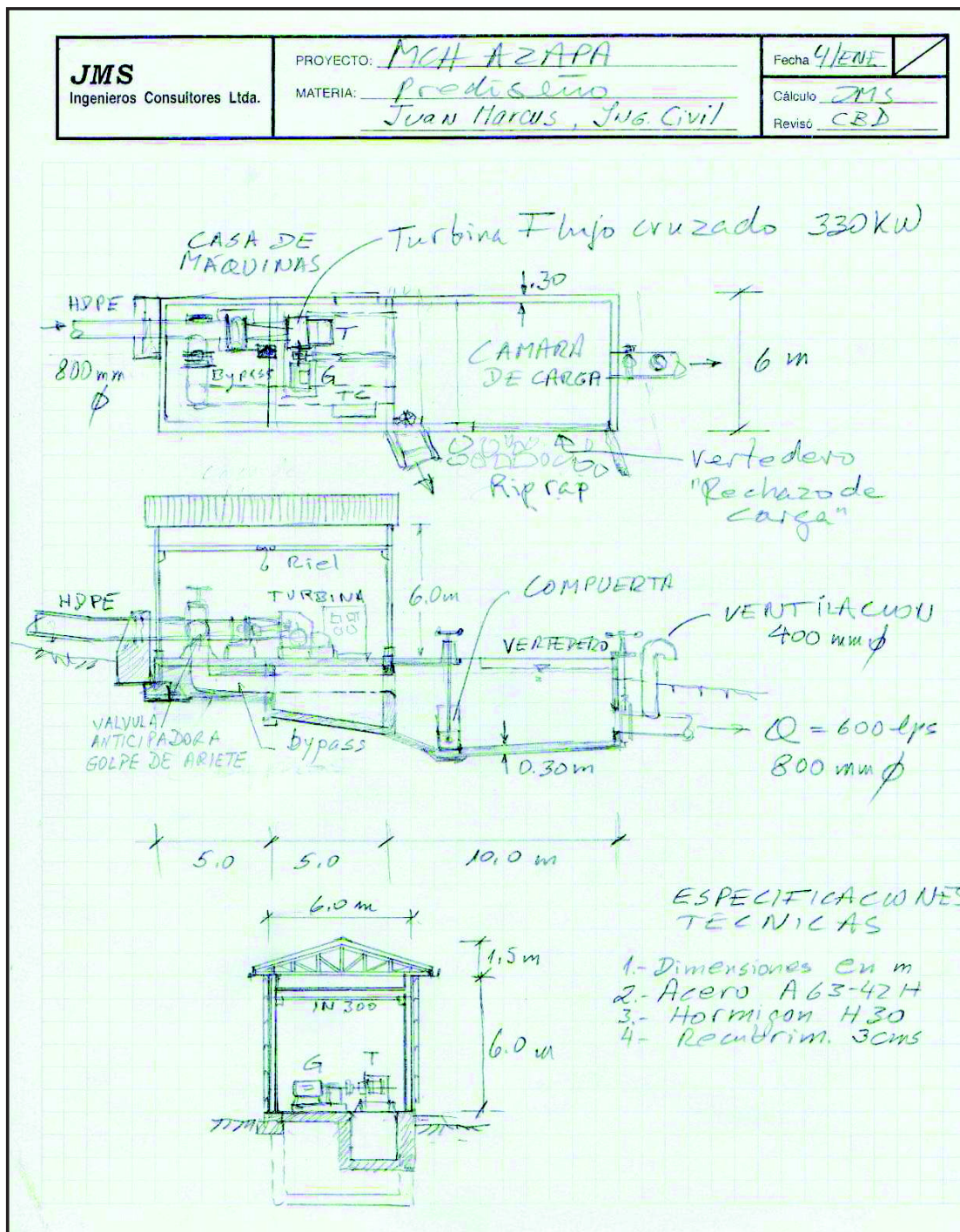


Fig. 2.3 - Esquema de diseño de instalación de una turbina de flujo cruzado en paralelo a canal de regadío.

Fuente: JMS Ingenieros Consultores (Dibujo de Juan Marcus Schwenk y Carlos Bonifetti Dietert)

FASE 4 - Ingeniería conceptual

En esta etapa se requiere la participación de un consultor quién deberá entregar un primer anteproyecto con los siguientes contenidos:

- **Estudios Básicos**
 - Hidrología preliminar (con base en caudales medios mensuales)
 - Selección de caudal de diseño y estimación de potencia instalada
 - Cálculo de generación hidroeléctrica (Producción [MWh/año]; Factor de Planta)
 - Levantamiento Topográfico
 - Estudio Geotécnico (o Mecánica de Suelos)
- **Detalle de Componente de Obras Civiles**
 - Diagrama General de Proyecto
 - Bocatoma
 - Canal de Conducción o Aducción
 - Cámara de Carga
 - Tubería de Presión y sus machones
 - Casa de Máquinas
 - Obra de Restitución
 - Rápido de Descarga
 - Disipador de Energía
- **Equipamiento electromecánico (EEM)**
 - Resumen de datos característicos (Diseño, Hneta, Potencia instalada)
 - Detalle de equipamiento EEM (tipo de turbina, eficiencia estimada, generador, etc.)
 - Información adicional (altura de operación [m snm], Ambiente (medios, max., mínimos), RPM)
- **Línea de Transmisión**
- **Generación Eléctrica**
- **Presupuesto estimativo MCH**
- **Proyecto de Riego**

FASE 5 - Ingeniería Básica y de Detalle

En esta etapa el consultor desarrollará el proyecto definitivo con los alcances que el proyectista considere adecuados, considerando como contenidos mínimos los siguientes::

- **Diseño de Obras Civiles**
 - Bocatoma y Desripiador
 - Obras de Alivio (Vertederos de Excedencia)
 - Trazado y Diseño de Canal de Conducción o Aducción
 - Desarenador
 - Cámara de Carga (Reja, sistema de limpieza, sumergencia, vertedero, canal colector)
 - Tubería de Presión y Cálculo de Fundaciones (ya sea en zanja, apoyo con Machones),
 - Casa de Máquinas con disposición de turbina y controles
 - Rápido de Descarga
 - Disipador de Energía

Trazado y Diseño de Canal de Fuga
Fundaciones (anclajes y otros)

- **Diseño de equipamiento electromecánico**
 - Determinación de la Capacidad Instalada
 - Determinación de la Altura de Carga Bruta
 - Cálculo de la pérdida de carga, carga neta y caudal
 - Cálculo de la Potencia
 - Selección de equipamiento electromecánico (turbina/generador)
 - Selección y Especificaciones de Tubería de Carga
 - Cubicaciones y movimiento de tierras (escarpe / relleno)
- **Presupuestos**
 - Cubicaciones Básicas
 - Análisis de Precios Unitarios
 - Presupuesto Estimativo de Obras
- **Planos**
 - Elevación y Planta de Casa de Máquinas
 - Elevación y Planta Tubería de Carga
 - Obras Civiles de Toma y Descarga
 - Línea General Hidráulica
 - Planos de Detalles (incluye Enfierradura)
- **Memorias de Cálculo**
 - Elevación y Planta de Casa de Máquinas
 - Elevación y Planta Tubería de Carga
 - Obras Civiles de Toma y Descarga (Vertederos de Excedencia)
 - Análisis de Golpe de Ariete
- **Pliegos de Licitación (T de R)**
- **Selección de Proveedores (OCC , Eléctricos, etc.)**
- **Cotizaciones y Presupuesto**
- **Cronograma**

FASE 6 - Construcción de la Microcentral Hidroeléctrica

El procesos de selección de la empresa constructora sera realizado por el beneficiario.

- **Selección Contratista/Constructor**
- **Ingeniería de Detalle (Proyectista y Constructor)**
- **Construcción**

FASE 7 - Operación

• Entrenamiento del Personal

Una vez realizada la instalación durante el período de pruebas (puesta en marcha) y recepción se hará el entrenamiento al personal de operación designado. Éste deberá ser realizado por los instaladores del equipamiento electromecánico, quienes deberán dejar manuales y procedimientos (en español).

• Programa de Operación y Mantenimiento

Se recomienda emplear como guía en esta fase la publicación de Soluciones Prácticas - ITDG *"Manual de capacitación en operación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas"* Serie Manuales N° 36 Autores Eduardo Briceño et al, Perú (2008)

Tabla 2.1 - Ejemplo de acciones de Mantenimiento de obras civiles en central hidroeléctrica.

BOCATOMA 1. Limpieza de la bocatoma 2. Engrase de compuertas 3. Control de funcionamiento de las compuertas 4. Inspección de la bocatoma 5. Pintado de compuertas con pintura anticorrosiva	Cada tres meses Cada seis meses Cada día Cada 3 meses Anualmente	Semanal, quincenal Cada mes Cada día Semanalmente Anualmente
DESARENADOR 1. Purga del desarenador 2. Engrase de compuertas 3. Control de funcionamiento de las compuertas 4. Limpieza total del desarenador 5. Pintado de compuertas con pintura anticorrosiva 6. Inspección de la estructura del desarenador	Cada dos meses Cada seis meses Durante la purga Cada dos meses Anualmente Anualmente	Cada semana o cada quince días Cada dos meses Durante la purga Cada quince días Anualmente Anualmente
CANAL 1. Vigilar el canal eliminando obstrucciones si las hay 2. Limpieza total del canal incluyendo talud 3. Reparación del canal 4. Inspección de todo el canal especialmente en la zona de derrumbes.	Diariamente Cada seis meses Según estado Anualmente	Diariamente Cada seis meses Según estado Anualmente
CÁMARA DE CARGA 1. Limpieza de la rejilla, eliminando hojas, ramas, sólidos flotantes 2. Purgar la cámara de carga 3. Limpieza de la cámara de carga 4. Engrase de compuertas 5. Control de funcionamiento de las compuertas 6. Pintado de compuertas con pintura anticorrosiva 7. Inspección de la estructura del desarenador	Diariamente en el día Cada tres meses Cada tres meses Cada seis meses Durante la purga Anualmente Anualmente	Diariamente en el día Cada dos meses Cada dos meses Cada seis meses Durante la purga Anualmente Anualmente
TUBERÍA DE PRESIÓN Acero 1. Inspecciones para determinar si hay fugas en las conexiones o uniones de expansión, los sellos de alrededor de la tubería en los bloques de anclaje, los apoyos de cemento, incluyendo la integridad de los cimientos. 2. Inspección de estado de la pintura. 3. Cambio de empaquetadoras. 4. Pintado general de la tubería de acero. 5. Inspección de aparejos y anclajes para constatar que la tubería esté totalmente aparejada y anclada. 6. Drenaje de agua de lluvia en recorrido de tubería	Cada tres meses / anual Según estado operativo Según estado Si es zona de suelos poco estables (anual) Si es que hay deslizamientos Semestralmente	Cada mes / anual Según estado operativo Según estado Semestralmente Si es que hay deslizamientos Cada 3 meses
CANAL DE DESCARGA 1. Inspección del canal de descarga		

Fuente: Soluciones Prácticas - ITDG *"Manual de capacitación en operación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas"* Serie Manuales N° 36 Autores Eduardo Briceño et al, Perú (2008) Página 31

3.0 CARACTERIZACION Y MERCADO DE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS

Dentro de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) utilizadas actualmente la energía hidráulica es la más antigua, con gran desarrollo desde el punto de vista tecnológico y por lo tanto la más madura. Presenta bajas barreras para su implementación, cuando se trata de proyectos de pequeña escala en esquema de tipo "centrales de pasada".

Las micro centrales hidráulicas (MCH) están en el rango de potencia entre 1 kW y 100 kW y permiten suministrar electricidad a una o varias pequeñas comunidades localizadas en un radio no mayor de 10 kilómetros desde la planta generadora.

Las MCH de menos de 100 kW, por lo general, no suministran energía eléctrica a las redes de distribución nacionales. Se usan en áreas apartadas a las que no llega la red para proveer de electricidad a pequeñas industrias, establecimientos turísticos y comunidades rurales. Los usos finales de la energía son: iluminación doméstica, accionamiento de motores y carga de baterías.

Las MCH pueden ser diseñadas por ingenieros especialistas y construidas con mano de obra local adecuadamente supervisada, dirigida o asesorada por ingenieros experimentados en la disciplina. Los equipamientos pueden ser fabricados por micro o pequeñas empresas nacionales o extranjeras de países vecinos o importadas desde proveedores internacionales.

Es conveniente que este enfoque local se complemente adecuadamente con procedimientos que, con la aplicación de las normativas eléctricas nacionales, permitan brindar un servicio de calidad y confiabilidad en todas las etapas del proyecto (diseño, construcción y logística, puesta en marcha, operación y mantenimiento).

Para lograr la sustentabilidad de las MCH **es indispensable cuidar que todas las fases del proyecto** se realicen rigurosamente usando las buenas prácticas de la ingeniería y de la construcción. Muchas MCH han fallado a los pocos años de construirse por no cumplir con esta recomendación.

3.1 Clasificación de las centrales hidroeléctricas

Los tipos de centrales hidráulicas se pueden clasificar sobre la base de criterios de implementación o de potencia. Según la forma en la que se aprovechan los potenciales de las cuencas, se pueden clasificar en:

- **Centrales de pasada**

Las hay de dos tipos: de derivación y de agua fluyente

Las de derivación son las más utilizadas. Las instalaciones para una central de pasada consisten en una obra de toma que desvía parte del caudal del río hacia un canal para conducir el agua hasta la casa de máquinas de la central, la que después de pasar por la turbina se restituye al cauce del río aguas abajo. Esta disposición es característica de las mini, pequeñas y medianas centrales. La gran mayoría de los sistemas MCH son del tipo de derivación.

El impacto ambiental asociado es bajo ya que hay no necesidad de inundar valles o cajones aguas arriba de la bocatoma y, aguas abajo de la central de la casa de máquinas no hay modificación alguna.

En las de agua fluyente se usa directamente el cauce del río y no cuentan con reservas de agua. No es posible la regulación y trabajan a potencia fija. Se aplican para pequeños propietarios rurales con predios colindantes a orillas de ríos caudalosos y se utilizan para muy baja potencia.

- **Centrales de embalse**

La centrales de embalse también se denominan de regulación. Tienen la opción de acumular el agua del río en un embalse el que se genera mediante una presa construida a través del cauce, la que además de generar el volumen de acumulación, proporciona la altura de caída para la turbina.

En estas centrales, se regulan los caudales de salida para utilizarlos cuando sea necesario. Esta disposición es más característica de centrales medianas o grandes donde el caudal aprovechado por las turbinas es proporcionalmente muy grande con respecto caudal promedio anual disponible en el río. En este tipo de centrales el impacto ambiental es generalmente mayor. En algunos casos, las centrales de embalse se operan como centrales de pasada, es decir sin acumular agua.

La Tabla 3.1 indica las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de centrales así como las potencias en las que se emplean.

Tabla 3.1 - Clasificación de las centrales hidráulicas según la forma de captación y la capacidad de regulación del recurso

Sistema	Rango de potencias	Ventajas	Desventajas
Agua fluyente	Pequeñas potencias	Más sencillas de construir y menor coste. Bajo impacto ambiental	No es posible regular la generación eléctrica y la potencia depende del caudal del río.
Sistema de derivación	Pequeñas y medianas potencias	Se puede construir localmente a bajo coste y simplicidad. Pequeño impacto ambiental	El agua no puede ser almacenada y la potencia depende del caudal del río.
Agua embalsada o regulación	Grandes potencias	Regulación del caudal y producción según demanda. Gran altura, pequeño caudal. Se diseñan considerando la máxima generación eléctrica	Gran impacto ambiental. Inundación de terrenos fértiles y en ocasiones poblaciones que es preciso evacuar. La fauna y la flora local pueden ser alteradas.

Fuente: DOSBE CEE "Guía de Normas y protocolos técnicos para la electrificación rural con energías renovables" Miguel A. Egido y María Camino UPM Proyecto EIE-06-255 COOPENER, 61 pp., Perú (2008).

Otra posible clasificación de los sistemas hidráulicos es según la potencia instalada de generación eléctrica y las aplicaciones; se presenta en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 - Clasificación de las centrales hidráulicas según la potencia instalada

Nombre	Potencia	Mercado/Aplicaciones
Nano centrales	<1 kW	Unas cuantas viviendas con necesidades escasas de electricidad, ubicadas a una distancia no mayor de 200 metros de la planta generadora.
Micro centrales	1 kW a 100 kW	Una o varias pequeñas comunidades localizadas en un radio no mayor de 10 kilómetros de la planta generadora.
Mini centrales	100 kW a 1 MW	Varias comunidades rurales con un total de entre 100 y 1.500 viviendas, localizadas en un radio de entre 10 y 40 kilómetros de la planta generadora.
Pequeña central	1 MW a 10MW	Para una pequeña ciudad y comunidades, además de conexión a la red.
Gran central	>10MW	Sistema a gran escala para conexión a red

Fuente: DOSBE CEE *"Guía de Normas y protocolos técnicos para la electrificación rural con energías renovables"* Miguel A. Egido y María Camino UPM Proyecto EIE-06-255 COOPENER, 61 pp., Perú (2008).

En general, las obras en sistemas de riego emplean pequeños saltos existentes en canales de riego, salidas en pequeños embalses de regadío. Para obtener potencias significativas (> 100 kW) se deben aprovechar caudales medios a altos. En general, estos esquemas tienen costos altos en potencia específica - expresada como la razón entre inversión y potencia instalada - en relación con los que emplean altas caídas, debido a que las obras civiles son un componente de mayor tamaño y, por ende, mayor costo proporcional, para poder manejar los altos caudales relativos de operación.

En estos esquemas de bajas potencias suele usarse la denominación de "prosumidor" que es un acrónimo de la fusión de las palabras en inglés *producer* (productor) y *consumer* (consumidor), ya que se trata de instalaciones aisladas en que tanto la generación como el aprovechamiento se hacen en el mismo lugar y ambas funciones las ejerce el mismo actor.

Existen diversas formas de poder implementarlas; una de las formas más conocidas son las de pie de presa y de caídas o desniveles de canales. También se incluye la recuperación o rehabilitación de instalaciones existentes abandonadas.

En años recientes se han ido ampliando los mercados y se han logrado desarrollos tecnológicos para instalaciones del tipo gravitacional o hidrocínética. Los esquemas de generación de tipo híbrido – con varias fuentes de energía renovable conectadas en paralelos – son cada vez son más populares debido al gran desarrollo de componentes con electrónica de estado sólido.

3.2 Componentes de la instalación

La Fig. 3.1 muestra un emplazamiento típico de central de pasada con sus principales componentes.

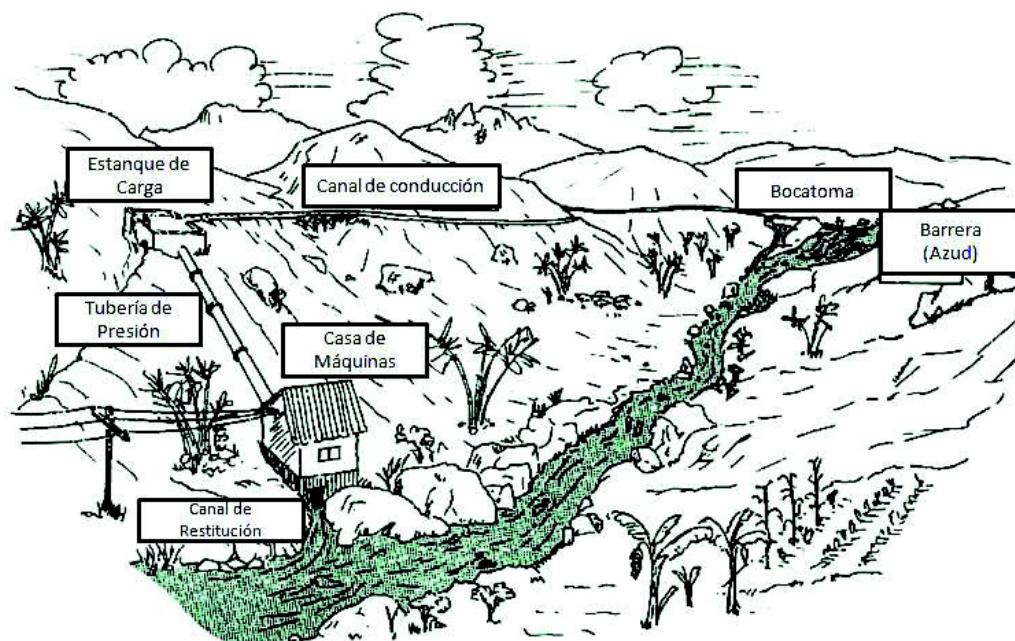


Fig. 3.1 - Esquema de instalación de microcentral con sus principales componentes

Fuente: Inversin, A. "Microhydropower Sourcebook" NRECA (1986)

Los sistemas de generación hidroeléctrica pueden abastecer de energía continuamente en 230 V CA (monofásica) o 380 V AC (trifásica) y comprenden las obras indicadas en Tabla 3.3:

Tabla 3.3 - Componentes de una central hidroeléctrica

Obras Civiles	Obra de toma (Bocatoma) Desarenador Canal de aducción Cámara de Carga Tubería de presión Casa de Máquinas Canal de restitución
Equipamiento electromecánico	Turbina Generador Regulador Válvulas Tableros de Fuerza y Control
Sistema Eléctrico	Transformadores Líneas de Subtransmisión Redes de Distribución

Fuente: Elaboración propia

- **Obras Civiles**

Las obras civiles para MCH se caracterizan por ser de construcción relativamente sencilla. Generalmente no se requieren grandes obras de arte.

Obra de toma (Bocatoma)

Son de dos tipos, a saber:

- Tirolesa, para ríos con pendiente en pie de monte
- Lateral, compuesta por un azud y una rejilla de captación para ríos de menor pendiente

Desarenador

Es un estanque (o piscina) alargado que tiene por función disminuir la velocidad de escurrimiento para decantar los sedimentos finos arrastrados por el agua y proteger la tubería de presión y la turbina. Se dimensiona de acuerdo con el tamaño de partícula a filtrar.

Canal de aducción

Tiene la función de transportar el caudal desde la bocatoma hasta el lugar de la cámara de carga y se dimensiona con una geometría rectangular o trapezoidal considerando la velocidad de operación de acuerdo al material y la pendiente.

Cámara de Carga

Es un estanque (o piscina) que conecta el canal con la tubería de presión y se dimensiona según el caudal de diseño. Debe considerar una reja para impedir el paso de elementos no deseados hacia la tubería en presión, que sea de fácil limpieza, un vertedero de emergencia con un canal receptor que derive las aguas en caso de que la turbina se detenga. Posee una compuerta de fondo o un sistema de limpieza de fondo para los sedimentos y hojas que puedan acumularse. La entrada a la tubería de presión debe considerar una sumergencia suficiente para que no se produzca entrada de aire por formación de vórtices, y en caso de no poder evitarse, incluir un sistema que anti vórtices, tipo flotador o reja.

Tubería de Presión

Es el conducto forzado por donde circula el caudal de diseño hasta la turbina. Los materiales más empleados son polietileno de alta densidad (HDPE), cloruro de polivinilo (PVC), acero y poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Para el dimensionamiento se debe considerar que la velocidad no debe ser mayor de 3 [m/s] o bien que la pérdida de carga no sea superior al 3% de la altura bruta disponible. Esta tubería deberá soportar los rechazos de carga (fenómeno de golpe de ariete) por la eventual o programado detención de la turbina. Debe considerar una compuerta en el sector de la cámara de carga para poder realizar la mantención o detener las aguas en caso de colapso de la tubería.

- **Equipos Electromecánicos**

Turbina

Existen diferentes tipos de turbinas siendo las más empleadas las Pelton (altas caídas), Francis y flujo cruzado o Michell - Banki (caídas medias) y axiales de hélice o Kaplan (bajas caídas).

Generador

Equipo de transformación de la energía mecánica en energía eléctrica cuyo dimensionamiento se realiza en función de la potencia de la turbina. Para sistemas aislados

destinados a autoconsumo se deben emplear generadores síncronos, ya que no dependen de la red para excitar el campo.

Regulador

Equipo que permite controlar y mantener la velocidad de la turbina. Existen dos tipos de reguladores: los reguladores de caudal y los reguladores con disipación de energía, siendo estos últimos los más empleados en microcentrales por su simplicidad, fiabilidad y bajo costo.

Válvulas

Elementos de cierre para dar o cerrar el paso de agua hacia la turbina.

Tablero de Control

Constituido por un gabinete e instrumentos de control, medición y protección de los equipos electromecánicos. Los tableros para microcentrales deben contar con los siguientes componentes:

- Amperímetros
- Horómetro
- Voltímetro con selector
- Frecuencímetro
- Medidor de energía activa
- Medidor de potencia
- Relés de sobre-corriente y de sobre-tensión

- **Sistema Eléctrico**

Conformado por los transformadores de elevación y de distribución, líneas de media tensión (MT) y líneas de transmisión en Baja Tensión

3.3 Tipos de turbinas

La turbina hidráulica es el elemento clave de la central. Aprovecha la energía cinética y potencial que contiene el agua, transformándola a energía mecánica en un movimiento de rotación, que transferido mediante un eje al generador produce la energía eléctrica. Las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grandes grupos:

- Turbinas de acción (también llamadas de impulso): Pelton, Turgo y Flujo Cruzado
- Turbinas de reacción: Francis, Deriaz, Kaplan y de Hélice
- Gravitacionales

En la Tabla 3.4 se presenta una clasificación de las turbinas.

En una turbina de acción la presión del agua en la tubería de presión se convierte en energía cinética la que mediante un chorro de alta velocidad impacta sobre los álabes del rodete.

En una turbina de reacción el rodete está completamente inmerso en agua, la presión del agua actúa como una fuerza sobre la superficie de los álabes y decrece a medida que avanza hacia la salida.

En la turbina gravitacional el peso del fluido acciona el rodete y entre ellas están las antiguas ruedas de agua, muy empleadas durante la colonización alemana en el sur de Chile tanto para molienda de grano como para elevación de agua o generación eléctrica y las turbinas hidrocínéticas o “de corriente”, sumergidas en la corriente de ríos muy profundos.

Tabla 3.4 - Tipos de turbinas empleadas en esquemas micro hidráulicos

Clasificación por altura de caída	Tipo de Turbina			
	Acción	Reacción	Gravitacional	Hidrocínética
Alta (> 50 m)	Pelton Turgo			
Media (10 - 50 m)	Flujo Cruzado	Francis (carcasa espiral)		
	Turgo	Bomba como turbina		
	Pelton (1 a 5 chorros)			
Baja (< 10 m)	Flujo Cruzado	Hélice Kaplan	Rueda de agua (flujo superior)	
	Rueda (flujo inferior)	Francis de pozo (open flume)	Tornillo de Arquímedes	
Nula (0 m)				Turbina de río Hélice

Fuente: Elaboración propia

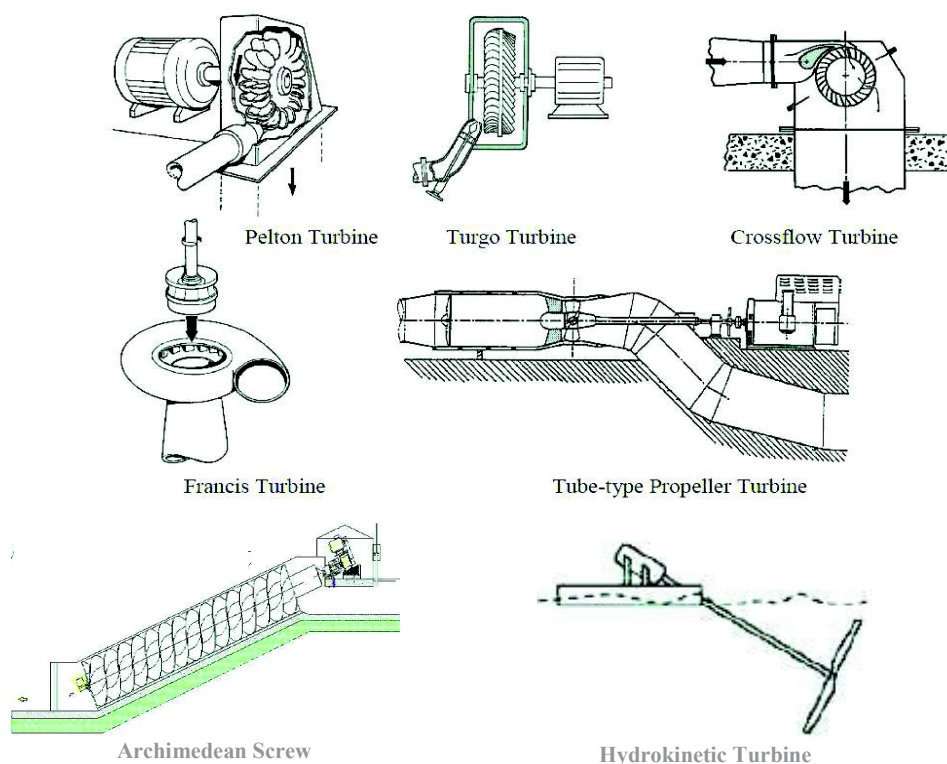


Fig. 3.2 - Esquemas de diferentes tipos de turbinas hidráulicas

Fuente: Elaborado en base a Paish, O. Small Hydropower: Technology and current status Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 6. Pp. 537 - 556 (2002)

3.3.1 Turbinas de acción

Son aquellas que aprovechan la conversión de la energía potencial dada por la altura de caída en energía cinética producida por la velocidad del chorro emergente de la tobera, que impacta los álabes del rotor. El tipo más utilizado es la turbina Pelton. Para caídas intermedias, se aplican la turbina Turgo con chorro de inyección lateral y la turbina de flujo cruzado, también conocida como Michell- Banki.

a) Turbinas Pelton

Esta turbina se emplea en saltos elevados que tienen poco caudal relativo. Está formada por un rodete (disco circular) giratorio con álabes (cazoletas) de doble cuenco en su periferia. El agua entra en la turbina dirigida y regulada por uno o varios inyectores (máximo 5), incidiendo en los álabes y provocando el movimiento de giro del rodete. La potencia se regula a través de las agujas de los inyectores, que aumentan o disminuyen el caudal de agua. Estas turbinas tienen una alta disponibilidad y bajo costo de mantenimiento, además de que su rendimiento es bastante alto (superior al 90%); presentan una curva de rendimiento bastante plana en un amplio rango de caudales, con un rendimiento superior al 80% para caudales del 20 al 100% del nominal.

Las posibilidades que ofrece este tipo de máquina hacen que sea muy apropiada para operar con carga parcial, además de permitir una amplia variación de caudales en su operación. Se pueden construir con eje horizontal o vertical; las de eje horizontal pueden tener de 1 a 3 inyectores. Las de eje vertical pueden tener de 2 a 5 inyectores; esta disposición se usa para potencias mayores pues se encarece el costo del generador por el descenso de empuje vertical que debe resistir el peso del generador más el del rodete y del eje.

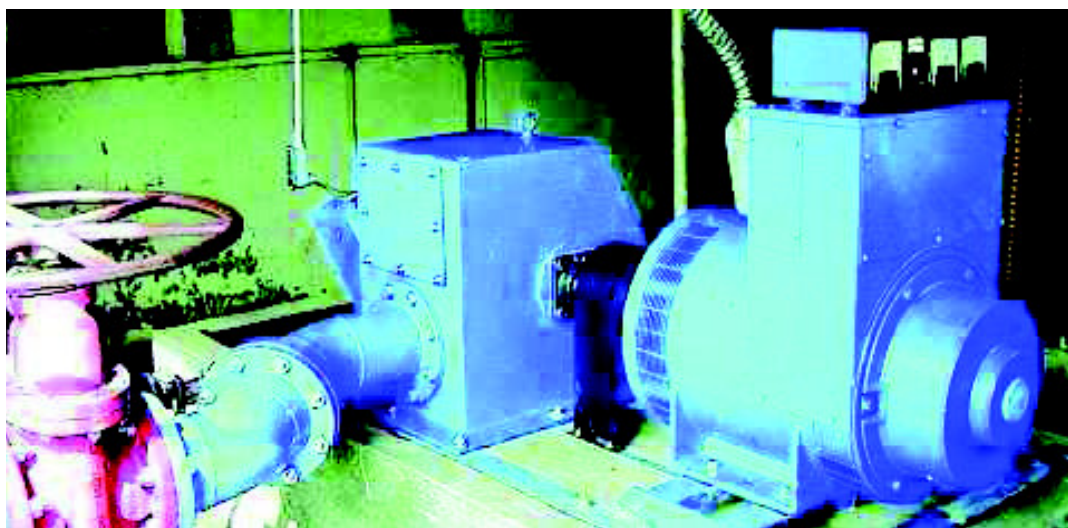


Fig. 3.3 - Turbina Pelton de 16 kW con generador síncrono puede alimentar cargas directamente en 380 VAC en un sistema isla.

Fuente: Canyon Hydro Industries

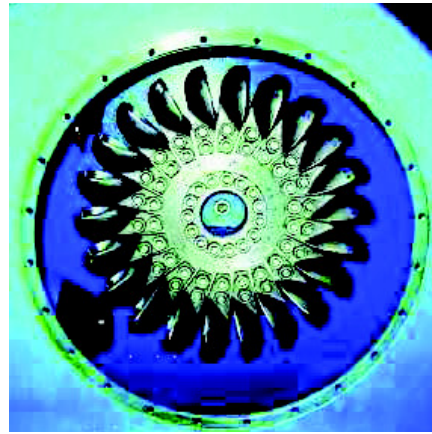
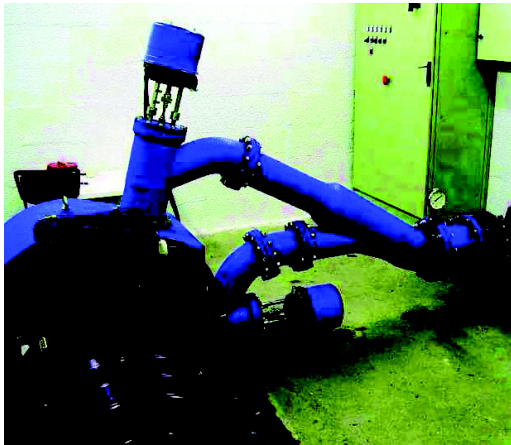


Fig. 3.4 - Turbina Pelton operando con 100 l/s, altura neta 116 m, dos (2) inyectoros y potencia de 80 kW, instalada en Groenhovd, Noruega

Fuente: <http://www.hydrolink.cz/prilohy/23/SHPGroenhovd.jpg>

b) Turbinas Turgo

La turbina Turgo puede trabajar en saltos con alturas similares a la de la Pelton - entre 50 y 300 m - pero sus álabes son del tipo semiesfera y el chorro incide con un ángulo de 20° respecto al plano diametral del rodete, entrando por un lado del disco y saliendo por el otro. A diferencia de la Pelton, en la turbina Turgo el chorro incide simultáneamente sobre varios alabes, de forma semejante a como lo hace el fluido en una turbina de vapor de Laval. Por una parte admite mayor caudal para una Pelton equivalente pero el menor diámetro conduce - para igual velocidad periférica - a una mayor velocidad angular, lo que facilita su acoplamiento directo al generador.

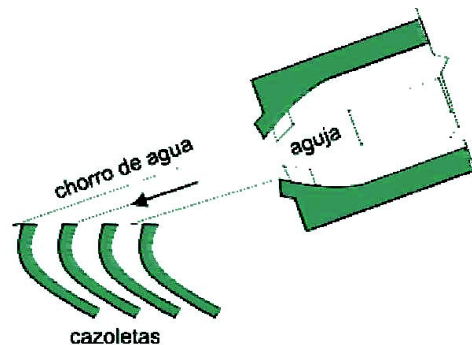


Fig. 3.5 - Rodete de microturbina Turgo en nylon compuesto y disposición del ataque del chorro a los álabes del rodete.

Fuente: http://h-hydro.com/New_Site/turgo-runners/

En general, una turbina de tipo Turgo permite una mayor admisión de agua, lo cual amplía el rango de aplicación de las turbinas de impulso hacia la zona de uso de las turbinas de reacción, como las Francis o Michell-Banki.

c) Turbinas de Flujo Cruzado

Las turbinas de flujo cruzado son también denominadas Michell-Banki. Son de doble impulso. Están constituidas por una carcasa con un inyector de sección rectangular provisto de un álabe de sección hidrodinámica longitudinal que regula y orienta el caudal que entra al rodete; este es de forma cilíndrica con alabes periféricos curvos dispuestos como generatrices y soldadas por los extremos a discos de acero terminales (los rodetes anchos tiene discos intermedios de refuerzo). El primer impulso se produce cuando el caudal entra al rodete, entregando aproximadamente el 70% de su energía, y el segundo impulso cuando, luego de cruzar el rodete por su interior impacta los álbes desde dentro hacia fuera, entregando el 30% remanente; el agua sale finalmente por el tubo difusor de descarga hacia el foso del canal de restitución. Este tipo de turbinas tienen un gran campo de aplicación y se pueden instalar en aprovechamientos con saltos comprendidos entre 3 y 200 m con un rango de variación de caudales muy amplio.

La potencia unitaria máxima está limitada aproximadamente a 2 MW. El rendimiento máximo es inferior al de las turbinas Pelton, siendo aproximadamente de 85 a 88%, pero tiene un funcionamiento con rendimiento prácticamente constante para caudales de hasta 1/16 del caudal nominal.



**Fig. 3.6 - Turbina flujo cruzado Ossberger operando con altura de caída de 11 [m], caudal de 1.300 [l/s] y potencia de 115 [kW].
Fuente: Mantex S.A.**

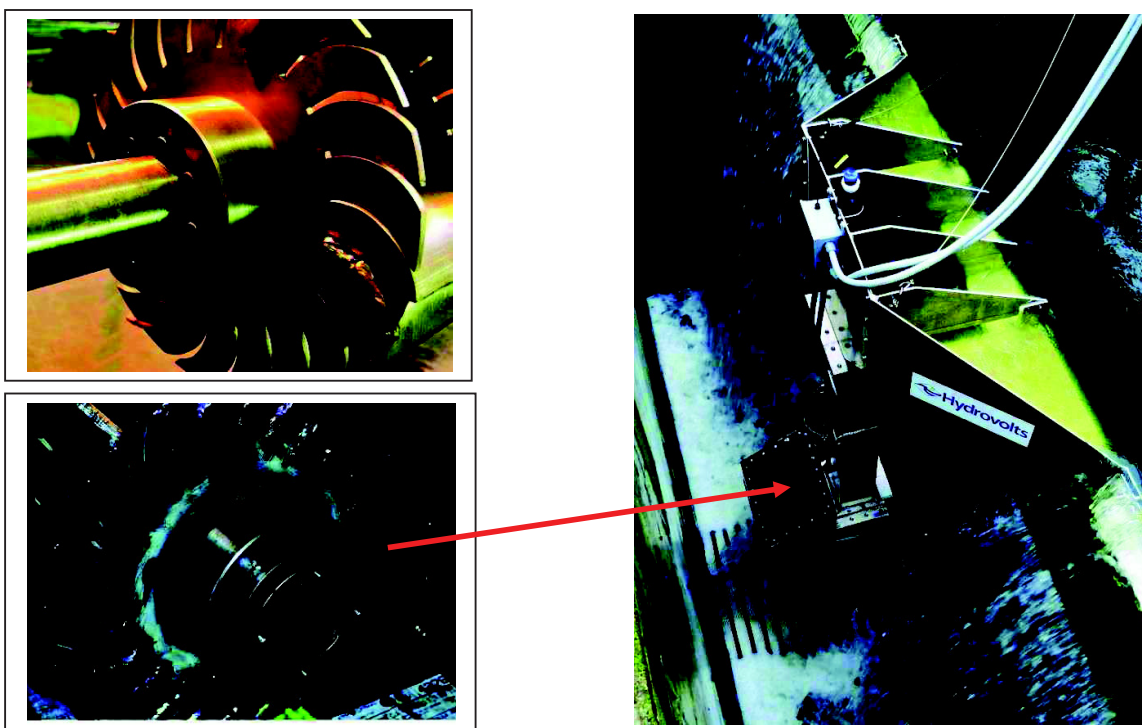


Fig. 3.7 - Rodete (izq.) de turbina de flujo cruzado para operar con altura desde 1,8 m (P máx. = 15 kW) (der.). Unidad instalada en Argentina (abajo).

Fuente: <http://www.grenergia.com.ar/> e www.hydrovolts.com

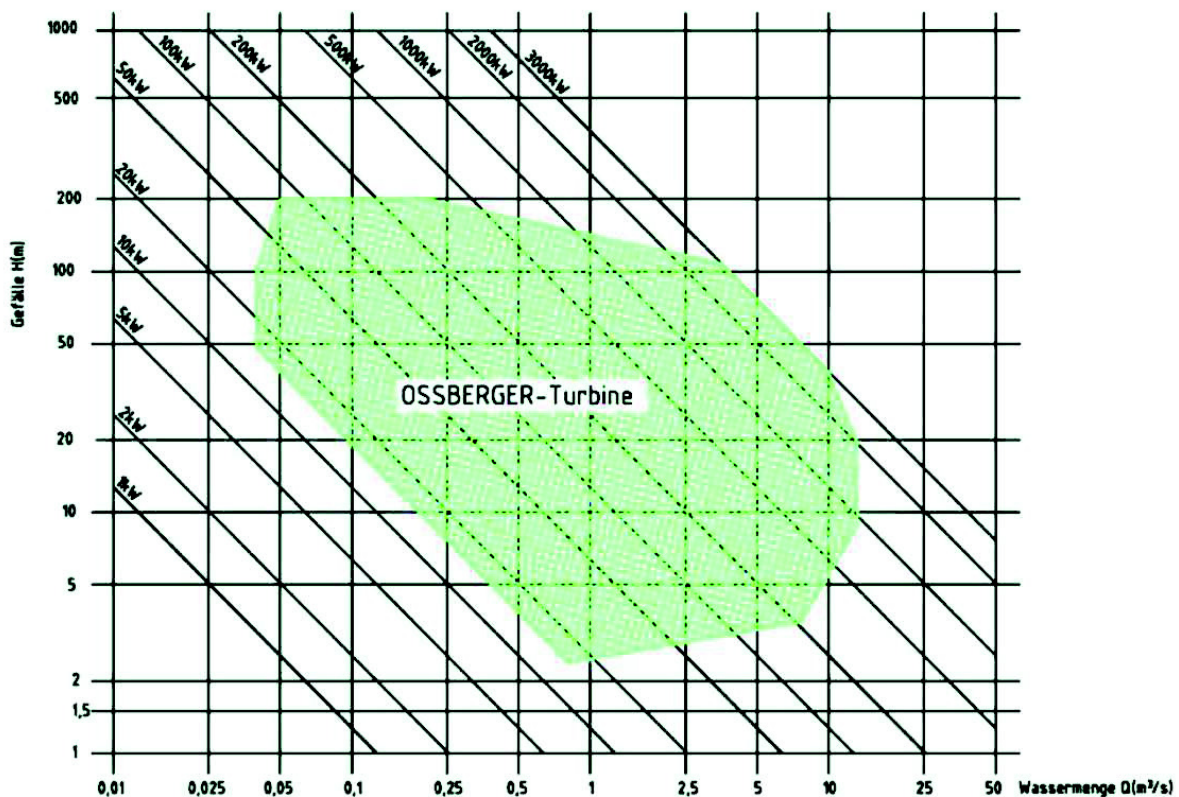


Fig. 3.8 - Diagrama de cálculo de potencia para turbina flujo cruzado (Rango de de operación de 2,5 a 200 [m] y potencias de 10 a 3.000 [kW])
Fuente: Ossberger GmbH

3.3.2 Turbinas de reacción

Este tipo de turbinas cuentan con un diseño de rotor que permite aprovechar la energía de la presión del agua en la entrada para convertirla en energía cinética de rotación. Como el rodete está completamente inmerso en el flujo, el agua al salir del rotor tiene una presión inferior a la presión atmosférica.

Las turbinas de reacción más utilizadas son la Francis y la Kaplan. La mayoría de estas turbinas se componen normalmente de los siguientes elementos:

- *Carcasa o caracol.*

Estructura fija en forma de espiral donde parte de la energía de presión del agua que entra se convierte en energía cinética, dirigiendo el agua alrededor del distribuidor.

- *Distribuidor.*

Regula el caudal de operación. Lo componen dos coronas concéntricas; el estator (corona exterior de álabes fijos) y la giratoria (segunda corona de álabes móviles).

- *Rodete.*

Es el elemento giratorio que transforma la energía cinética y de presión del agua en energía mecánica en el eje.

- *Difusor*

Tubo divergente que recupera parte de la energía cinética del agua de descarga.

d) Turbinas Francis

Esta turbina se adapta muy bien a un amplio rango de alturas de caída y caudales. Se caracteriza por recibir el fluido de agua en dirección radial, y a medida que ésta recorre la máquina hacia la salida se convierte en dirección axial.

El rendimiento de las turbinas Francis es superior al 90% en condiciones óptimas de operación. Permite variaciones de caudales entre el 40% y el 105% del caudal de diseño, y en salto entre 60% y el 125% del nominal.

Los elementos que la componen los siguientes:

- *Distribuidor*

Contiene una serie de álabes fijos y móviles que orientan el agua hacia el rodete.

- *Rodete*

Formado por una corona de álabes fijos, con una forma tal, que la dirección del agua cambia de radial a axial a medida que lo recorre entre la entrada y la salida.

- *Cámara de entrada*

Puede ser abierta o cerrada, y tiene forma espiral para dar una componente radial al flujo de agua.

- *Tubo de aspiración o de salida de agua*

Puede ser recto o acodado y cumple la función de aprovechar la fracción de la altura de caída entre el eje de la turbina o plano del rodete y el pelo de agua del canal de restitución.

En general, las microturbinas Francis se usan poco para el rango de potencia <100 kW por su mayor costo de adquisición. Se han reemplazado por las turbinas de flujo cruzado, muy competitivas en precio y de las cuales hay una gran cantidad de proveedores.

El flujo entra con velocidad en una aproximación radial con presión positiva y luego desciende en un torbellino provocando aguas abajo del rodete una zona de baja presión

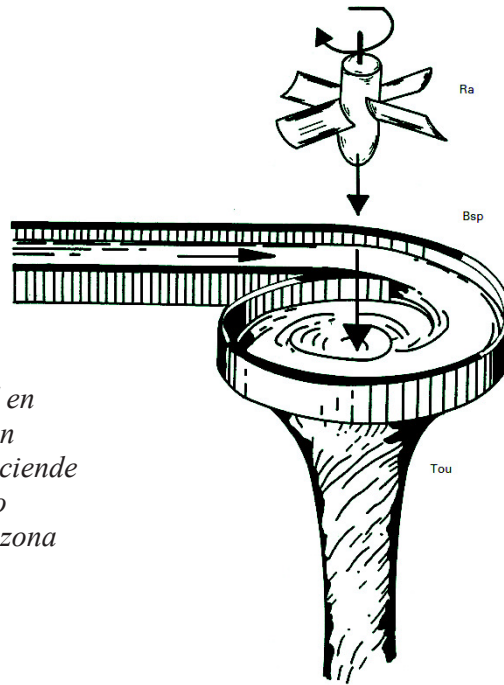


Fig. 3.9 - Imagen esquemática de una turbina a reacción explicando su operación
Fuente: PACER "Turbines Hydrauliques" Journées de Formation pour Ingenieurs (1995)

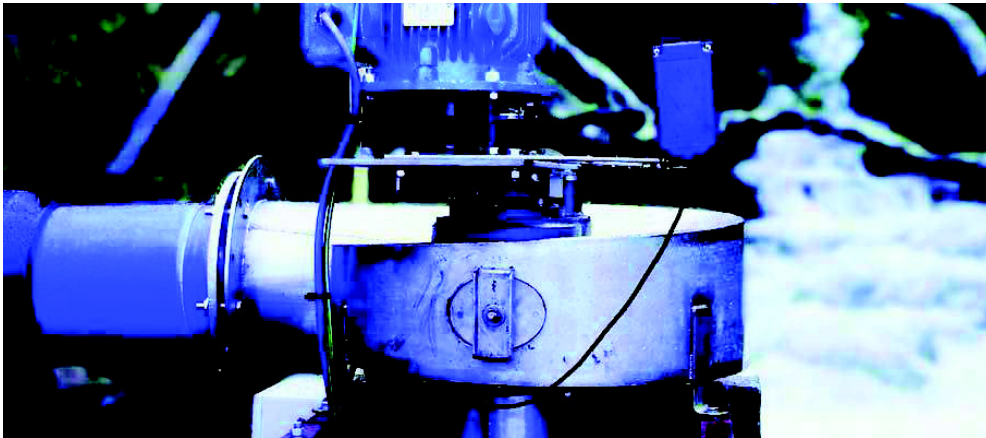


Fig. 3.9 - Instalaciones con microturbinas Francis "Nautilus"
Fuente: <http://www.waterturbine.com/>

e) Turbinas Deriaz

La turbina diagonal - también llamada turbina Deriaz - es una turbina de reacción con doble regulación para operar con alturas de caída medianas (30 - 150 m). Esta innovadora turbina ha sido fabricada por Geppert (Austria) desde 1999 para mini centrales y se han instalado varias unidades.

El rotor con álabes regulables y los álabes directrices proporcionan una alta eficiencia en un amplio rango de caudales para esta turbina de media presión; por ello la eficiencia es alta a cargas parciales, comparable a las turbinas Kaplan y, si hay estacionalidad en los caudales del sitio, debería obtenerse una producción de energía superior en comparación con una turbina Francis. Tienen ventaja, frente a las Kaplan, en que son menos propensas al fenómeno de cavitación.

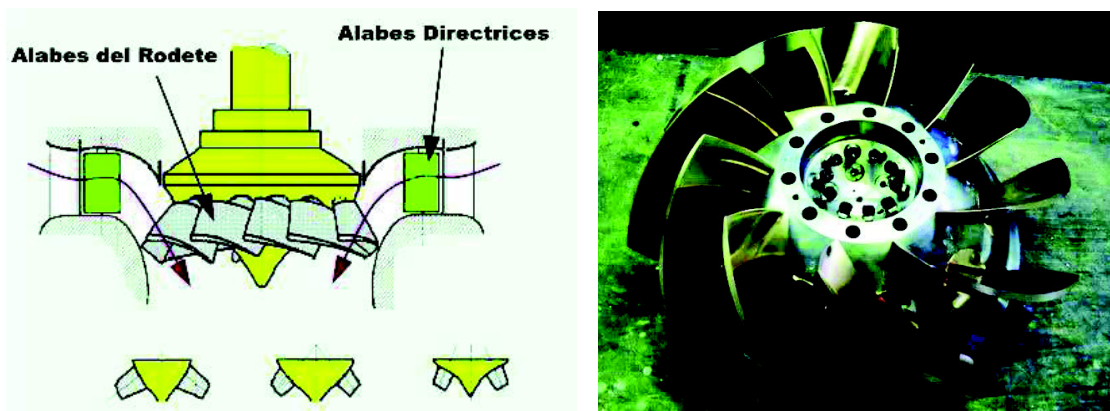


Fig. 3.10 - Rodete de turbina Deriaz mostrando la circulación semiaxial del agua

Fuente: http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-164.htm y
<http://newmachineparts.blogspot.cl/2013/12/deriaz-turbine.html>

f) Turbinas Kaplan

La turbina Kaplan es de diseño similar a la Francis y tiene componentes similares; la diferencia fundamental radica en el rodete, que este caso es tipo hélice con álabes regulables, en número de 3 a 8. La potencia se regula con la combinación de la regulación de la corona de álabes directrices de entrada y la variación angular (paso) de los álabes del rodete. Son poco usadas en micro y mini centrales por su alta complejidad y elevado costo.

Se componen de los siguientes elementos:

- *Carcasa o caracol.*

Estructura fija en forma de espiral donde parte de la energía de presión del agua que entra se convierte en energía cinética, dirigiendo el agua alrededor del distribuidor.

- *Distribuidor.*

Compuesto de una corona de álabes móviles para regulación del caudal.

- *Rodete.*

Es el elemento giratorio con forma de hélice con álabes de paso variable que transforma la energía cinética y de presión del agua en trabajo mecánico en el eje.

- *Difusor*

Tubo divergente que recupera parte de la energía cinética del agua de descarga.

El rendimiento es de aproximadamente el 90% para el caudal nominal y disminuye a medida que nos alejamos de él (ver gráfico de Fig. 3.12). Este tipo de turbinas se emplea generalmente para saltos pequeños y caudales variables o grandes.

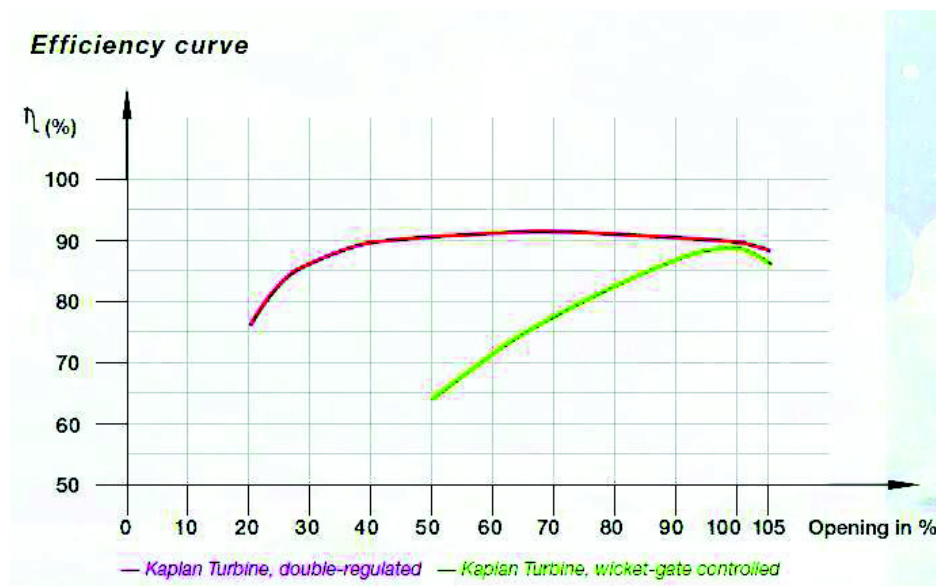
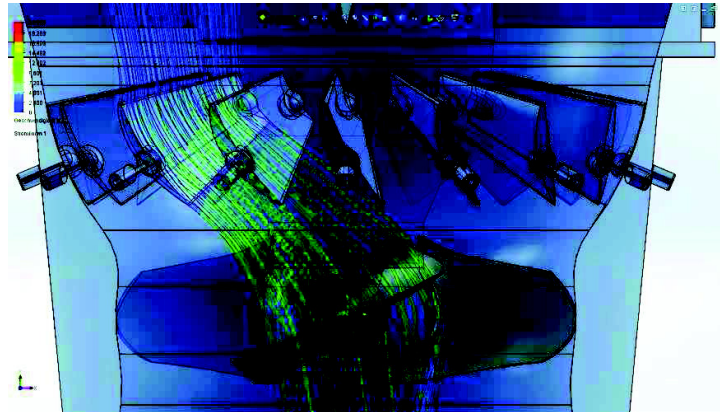


Fig. 3.12 - Comparación de rendimiento entre Kaplan (sup.) y Semi-Kaplan (inf.)
Fuente: <http://www.hts-inc.com/images/S-160.pdf>



Fig. 3.13a - Estero Quete-Quete. Canal de riego y barrera tipo azud en etapa de obras. Agrícola Dosal, Curicó (abril, 2015).
Fuente: Fotografías de Javier Gho y Juan Marcus Sch.



Fig. 3.13b - Turbina Kaplan de 250 kW, Zeco (Italia) en etapa de montaje.
Agrícola Dosal, Curicó (abril, 2015).
Fuente: Fotografías de Javier Gho y Juan Marcus Sch.

g) Turbinas Semi-Kaplan

Las turbinas Semi-Kaplan son variantes más simples de la Kaplan. Tienen regulación de caudal mediante la corona álabes distribuidores regulables; los álabes del rodete son fijos.

Las instalaciones con turbina Semi-Kaplan se componen básicamente de una cámara de carga abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rodete con 4 ó 5 álabes fijos de perfil similar al de hélice de barco y un tubo de aspiración.

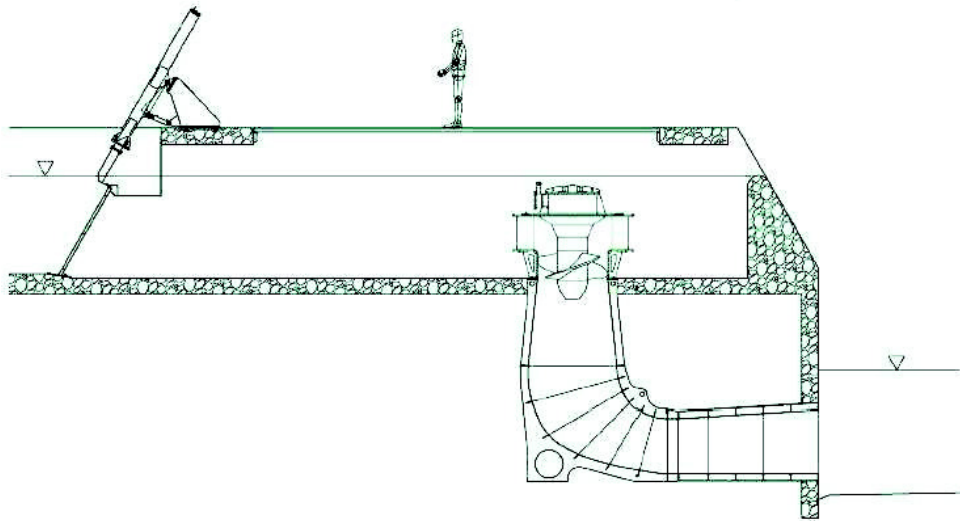


Fig. 3.14a - Esquema de emplazamiento de turbina Semi-Kaplan.
Fuente: Dive Maschinenfabrik (Alemania)

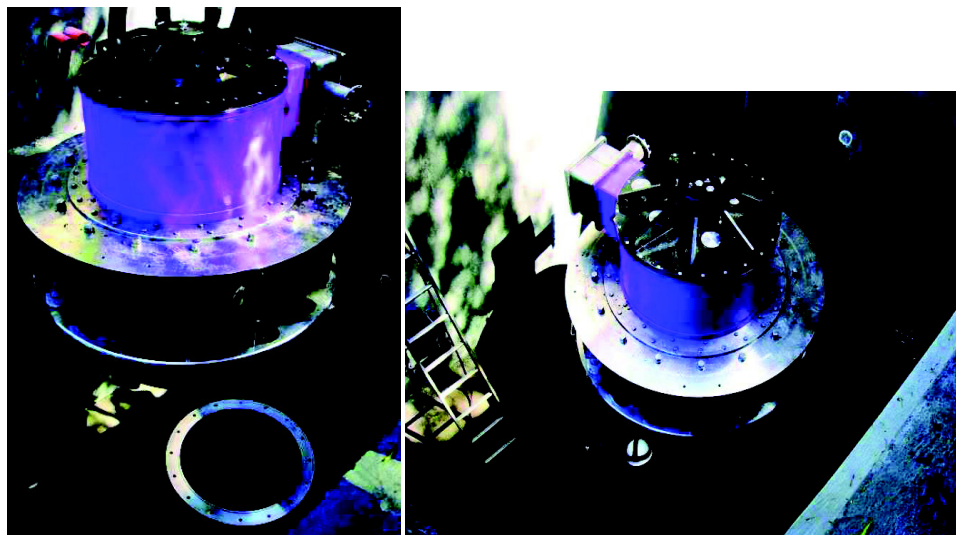


Fig. 3.14b - Turbina Semi-Kaplan de 250 kW. Dive Maschinenfabrik (Alemania).
Bajándola durante montaje al tubo de aspiración (izquierda) y fijación en el mismo (derecha). Instalada en río Donguil, Gorbea, Región de la Araucanía.
Fuente: Fotografía Juan S. Marcus

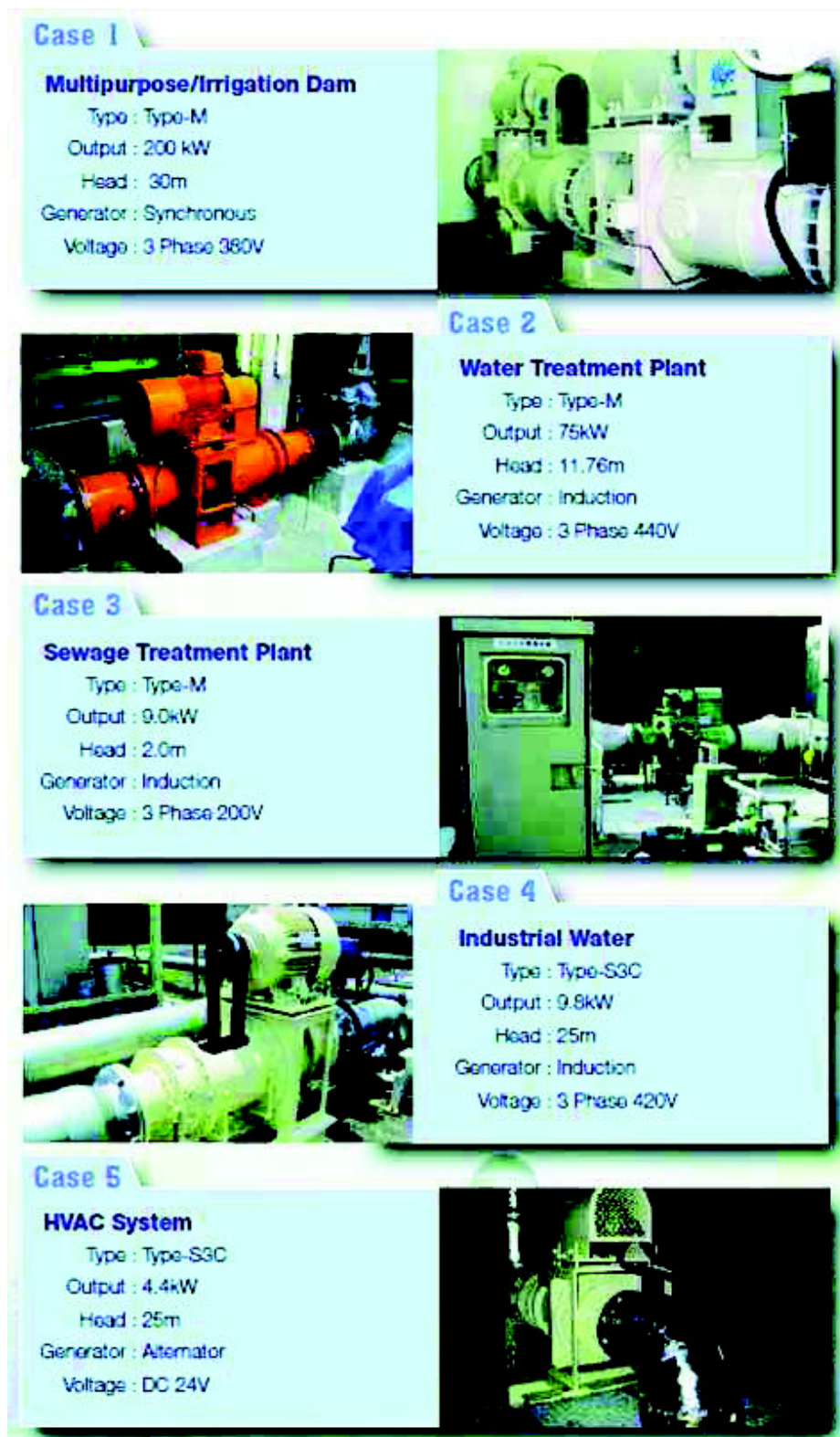


Fig. 3.15 - Turbinas *on-line* axiales (para cañerías a presión) de 4 - 200 kW de la empresa Toshiba (Japón)

Fuente: http://www.tic.toshiba.com.au/basic_installation/

- Turbina de Bulbo

Es una Kaplan horizontal en la que el generador está inmerso en la conducción dentro de una carcasa de acero impermeable. Tiene la ventaja de que la obra civil necesaria se reduce, pero los equipos son más complejos y esto dificulta el mantenimiento; en la Fig. 3.16 las primeras cuatro unidades de arriba hacia abajo son del tipo bulbo.

- Turbina Tubular

Se denominan turbinas tubulares o tipo "S". Su implantación puede ser de eje horizontal, inclinado o vertical, y tiene un rendimiento ligeramente superior a las Kaplan en cámara; en la Fig. 3.16 la última unidad es de tipo "S".

El uso de uno u otro tipo de turbina se decide en función de las características del aprovechamiento y de los aspectos técnicos y económicos.

- Para una central de tipo fluyente, con un salto prácticamente constante y un caudal muy variable, es aconsejable la utilización de una turbina Kaplan o Semi-Kaplan.
- La turbina de hélice se utiliza en centrales con regulación propia que funcionan con caudal casi constante entre unos niveles máximo y mínimo de embalse. La variación admitida en la altura de caída en estos tres tipos de turbina es del 60% al 140% de la de diseño; en cuanto al caudal, del 40% al 105% del caudal nominal para la tipo hélice, del 15% al 110% para la Kaplan, situándose la Semi-Kaplan entre ambas.
- La implantación de este tipo de turbinas suele ser con eje vertical, en cámara abierta o cerrada, aunque en ocasiones es más conveniente otro tipo de instalaciones con eje horizontal o ligeramente inclinado, como las turbinas tubulares o bulbo.

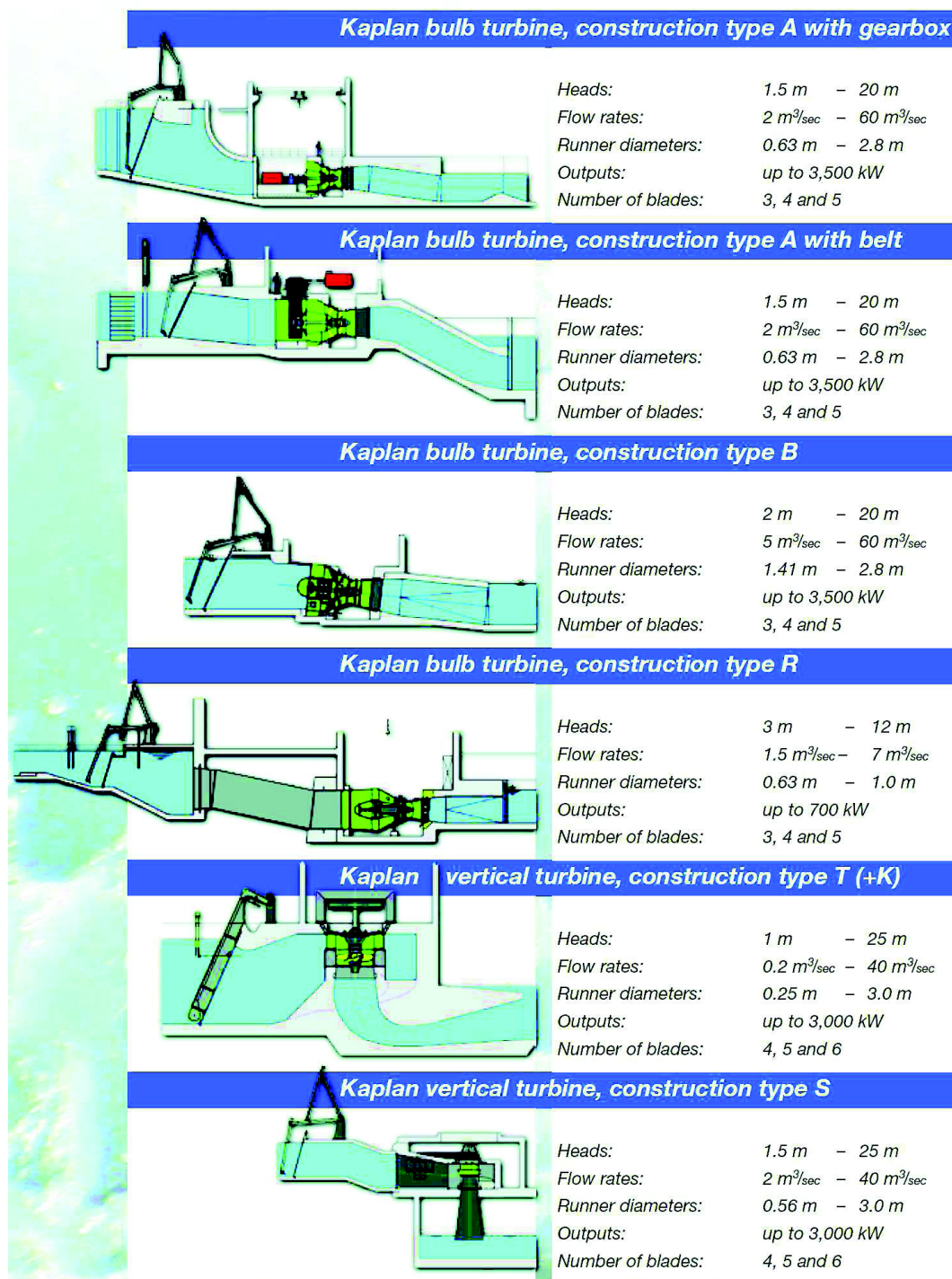
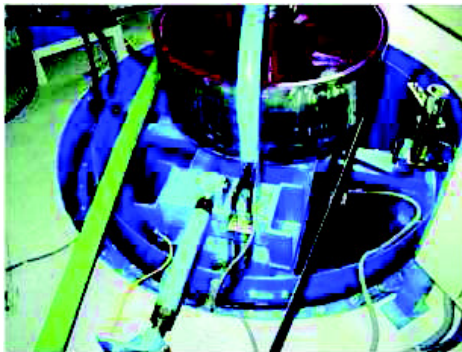


Fig. 3.16 - Diversas configuraciones de turbinas Kaplan y condiciones de operación.
Rango de potencia: 20 kW a 3.500 kW.
Fuente: Turbinas Kaplan (Ossberger GmbH (Alemania))



**Fig. 3.17 - Central con turbina Kaplan (Modelo Hydrohrom VT 860) con 2,3 [m] de altura de caída; 2,6 [m³/s] y potencia de 49 [kW] en Sussen (Alemania).
Fuente: Hydrolynk (Checoeslovaquia)**

g) Bombas como turbinas

Una bomba centrífuga convencional de rodete cerrado puede funcionar como turbina si se invierte el sentido del flujo; es decir cuando opera como turbina el agua entra por la periferia y sale por el centro de la voluta o carcasa.

Las bombas invertidas se pueden emplear como turbinas acoplando un generador pero bajo ciertas condiciones ya que su rendimiento está restringido a un rango muy pequeño de variación de caudal y si bien técnicamente se comportan en forma muy similar a las turbinas Francis, no cuentan con regulación en la voluta de admisión por lo que el caudal no puede ser regulado. En consecuencia, para obtener una mejor eficiencia en la operación, se recomienda emplear estas turbinas en las siguientes condiciones:

- i) Captación de agua cuyo caudal es muy superior al caudal extraído para turbinar.
- ii) Caudal de alimentación muy constante en torno al valor del caudal de selección de la bomba como turbina.
- iii) Captación desde un sistema que permite regulación (laguna, pequeño embalse, etc.)

Por tanto, es fundamental para este tipo de turbina conocer bien el comportamiento del caudal de acuerdo a los resultados que entregue la hidrología y sobre esa base definir la potencia posible, considerando que los valores de rendimientos pueden ser del orden de los presentados en la figura 3.19

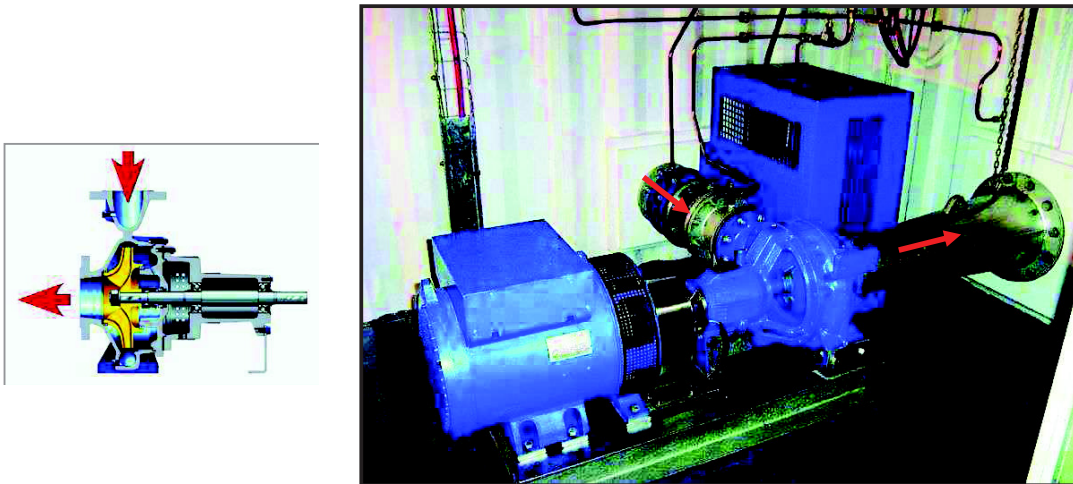


Fig. 3.18 - Instalación de bomba como turbina con dirección de los flujos, mostrando la entrada periférica (radial) y la salida por el centro del rodete

Fuente: Tamar Tyco (Australia)

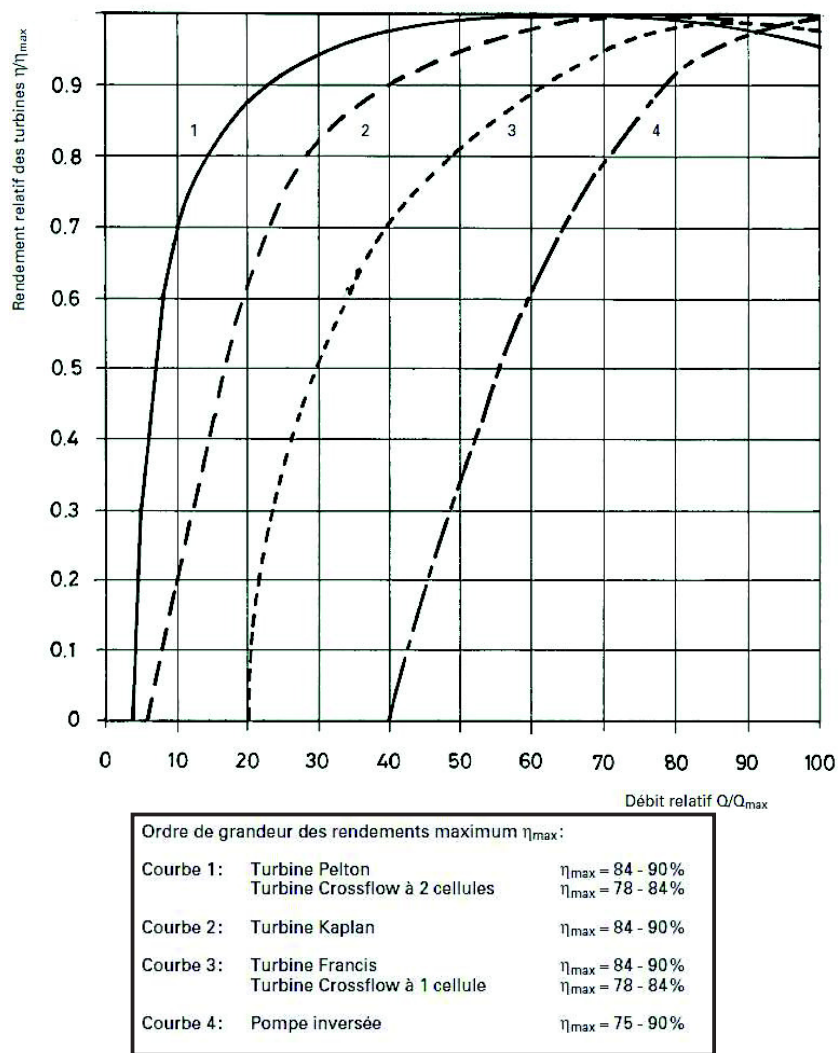


Fig. 3.19 - Comparación entre las curvas de rendimientos para diferentes tipos de turbinas

Fuente: PACER "Turbines Hydrauliques" Journées de Formation pour Ingenieurs (1995)

En la figura 3.20 se presenta los diferentes tipos de bombas que emplea KSB en el rango de potencias de 5 a 750 kW operando con caudales de 10 a 2.000 [l/s] y alturas de 10 a 300 [m] de columna de agua.

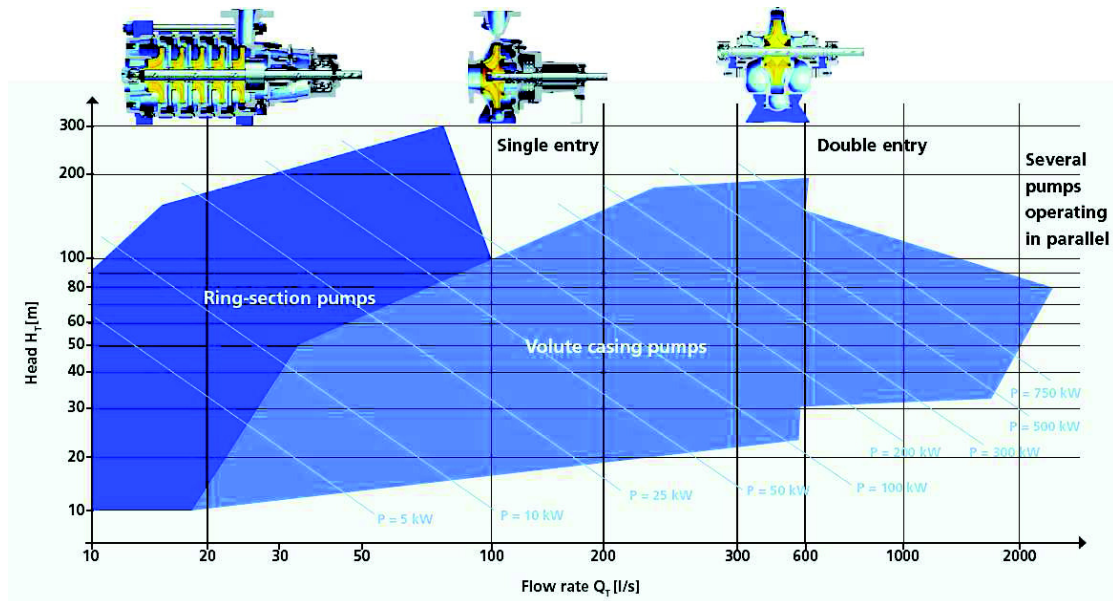


Fig. 3.20 - Diagrama de selección de bombas como turbinas de KSB (5 - 750 kW)
Fuente: https://www.ksb.com/linkableblob/ksb-en/111124-302009/data/Pumpen_als_Turbinen_en-data.pdf

h) Turbinas por fuerza gravitacional (Tornillos de Arquímedes)

Es un dispositivo de muy antiguo origen que se empleaba para elevar agua - como bomba – en riego, en la minería y en industrias con fluidos con un alto porcentaje de sólidos. Su uso es muy común en la industria vitivinícola donde se usan en la vinificación, para lo cual son fabricadas en acero inoxidable.

Diversas empresas los adaptaron como turbinas para bajas caídas y altos caudales, con multiplicador y generadores síncronos. Se pueden instalar múltiples unidades en paralelo para aprovechar mayores caudales o en serie para aprovechar alturas mayores a las recomendadas para una unidad.

Los Tornillos de Arquímedes son especialmente adecuados para sitios con altos caudales (200 - 10.000 [l/s]) y trabajan un rango de alturas de 1 a 10 m, es decir, son adecuados para operar en sitios de baja altura. Tienen la ventaja de que son muy compatibles con la fauna íctica ya que permiten la migración de los peces en el cauce tanto en dirección del flujo como en sentido contrario. Tienen un rendimiento elevado en comparación con las otras turbinas; el rendimiento puede alcanzar hasta 87% y pueden operar con caudales tan bajos como un 5% del caudal de diseño.

Se emplean en caídas desde 1 m hasta 10 m pero su introducción ha sido difícil en el mercado porque compiten con las axiales y Kaplan, ya que estas últimas tienen menores costos de obras civiles.



Fig. 3.21 - Instalación de caja multiplicadora al eje de transmisión de una turbina tipo Tornillo de Arquímedes de 78 kW, río Barle, Dulverton (UK)

Fuente: <https://www.renewablesfirst.co.uk/project-blog/dulverton-hydro-archimedes-screw/>



Fig. 3.22a – Dos turbinas tipo tornillo de Arquímedes de 75 [kW] c/u y 2,6 [m] de diámetro instaladas por Mann Power Consulting (UK) en Monmouthshire, Wales

Fuente: <http://www.engineering.lancs.ac.uk/lureg/nwhrm/project/Joule%20Centre%20conf%2008/mann.pdf>



Fig. 3.22b - Turbinas tipo tornillo de Arquímedes instaladas por Mann Power de 14 [kW] y 3,5 [m] de diámetro en Irlanda del Norte (arriba) e instalada por Itheco con presa inflable en Aargau (Suiza) (abajo).

Fuente: <http://www.engineering.lancs.ac.uk/lureg/nwhrm/project/Joule%20Centre%20conf%2008/mann.pdf>

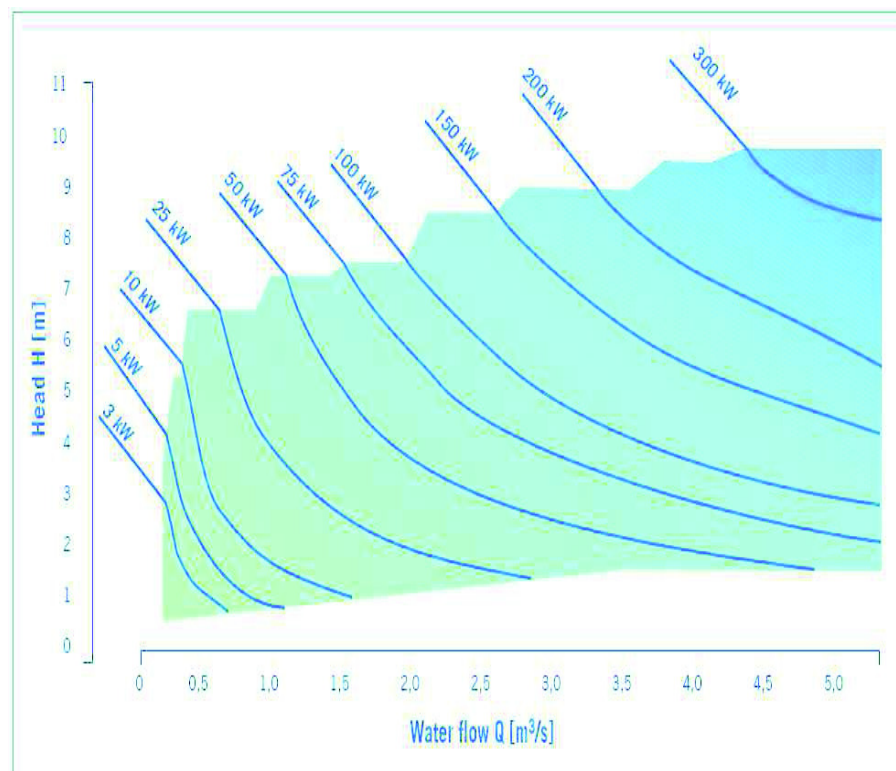
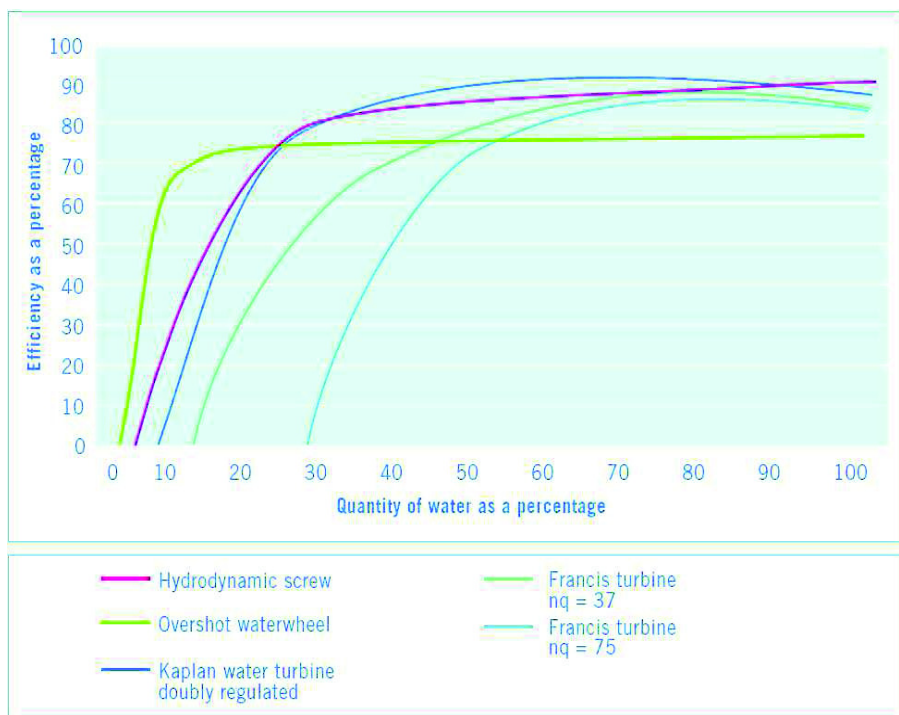


Fig. 3.23 - Rendimiento comparativo de turbinas tipo Tornillo de Arquímedes, producción de energía para diferentes pares caudal altura de operación.
Fuente: Voith Atro (ex Ritz-Atro Pumpwerksbau GmbH) y <https://www.renewablesfirst.co.uk/>

i) Turbinas Hidrocinéticas

La Turbina de Río es una turbina similar a un aerogenerador pero subacuático con un rotor de dos, tres o más álabes con disposición de eje horizontal o vertical. El rotor se suspende desde un pontón flotante, con la transmisión, generador, etc. por encima de la cubierta en unos casos y en otros, sellados y sumergido bajo el nivel de agua.

Hay modelos especialmente desarrollados para agua salada (hecho para mareas y oleajes en estuarios) y de río. A diferencia de un esquema convencional, su instalación no requiere un trabajo de ingeniería civil aparte de un sistema de amarre.

Existen diversos tipos de configuraciones, pero las más comerciales son las de tipo eje vertical de New Energy Corporation (Canadá) que pueden ser empleadas en agua dulce o salada; Seabell Corporation (Japón) especialmente para canales; y en eje horizontal las de Smart Hydro Power (Alemania) para canales o cauces naturales, que se presentan en la figura siguiente.

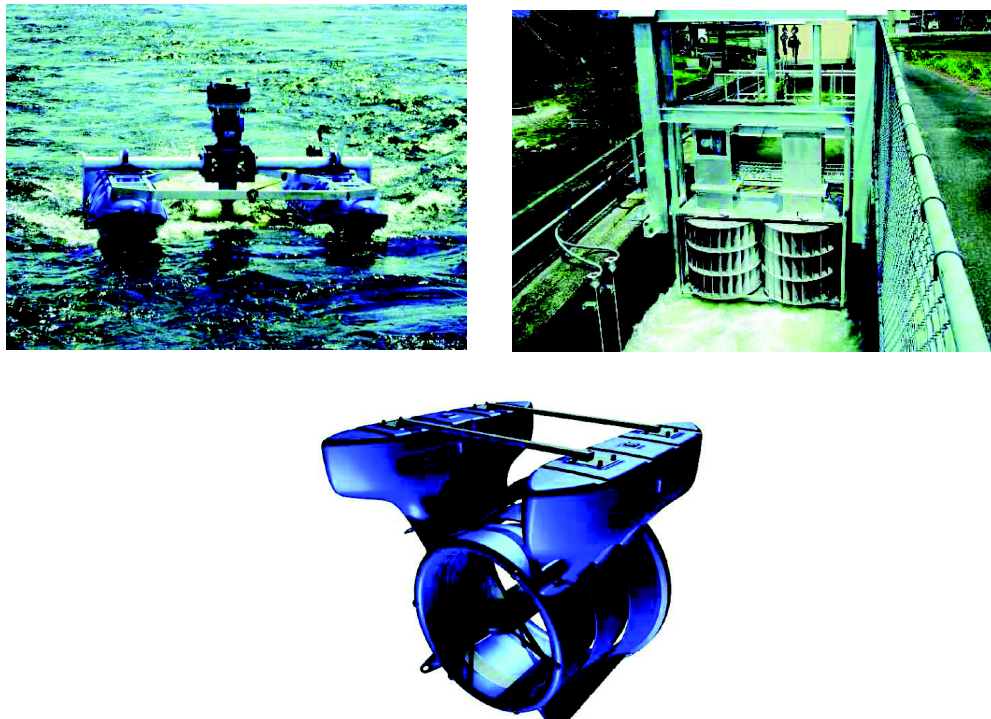


Fig. 3.24 - Turbina hidrocinética con estructura de soporte flotante de New Energy Corporation (Canadá) (arriba izquierda), Jag Seabell Co. Ltd. (Japón) (derecha) y de Smart Hydro Power (Alemania) (abajo)

Fuente: www.newenergycorp.ca ; <http://www.smart-hydro.de/es/inicio.html> y http://www.jagseabell.jp/english/marketability/pdf/installation_records.pdf

Un diseño de la Turbina de Río desarrollado y mejorado es la turbina Garman, siendo el Cargador de Baterías (Aquacharger) un complemento de ésta. Además, dichas turbinas son generadoras de energía descentralizadas aplicables a ciertas áreas sin acceso a una gran red de distribución de energía. La Turbina de Río convierte la energía de velocidad del agua en energía rotatoria del eje mediante una transmisión que utiliza correas y poleas que aumenta la velocidad de giro y un generador transforma la energía mecánica del eje en energía eléctrica; este tipo de turbinas está enfocada en ríos de gran corriente y profundidad (Nilo, Orinoco, Amazonas) y la potencia máxima se limita a unos 5 kW.

3.4 Proveedores de Microcentrales Hidroeléctricas

Los fabricantes o proveedores de turbinas se pueden dividir entre los que fabrican equipos convencionales:

Pelton
Axial (hélice)
Flujo Cruzado
Kaplan
Turgo
Francis

y aquellos que fabrican o han distribuyen turbomáquinas especiales:

Tornillos hidrodinámicos
Bombas como Turbinas
Turbinas hidrocinéticas

En el rango de potencia de interés ($P < 100$ kW) se presentan los principales fabricantes con sus direcciones en internet y los rangos de aplicación de sus equipos.

Tabla 3.4 - Proveedores relevantes de sistemas de microhidrogeneración (Potencia ≤ 100 kW)

Fabricante	Tipo	Origen	Página web	Potencia kW	
				Mín.	Máx.
AC TEC	Pelton Flujo Cruzado Kaplan	Italia	www.ac-tec.it/index_en.html	50	3.000
ANDRITZ Atro GmbH	Tornillos hidrodinámicos, Bombas como turbinas	Alemania	www.andritz.com/index/hydro/pf-detail?productid=7619	10	350
Betta Hidroturbinas	Pelton Flujo Cruzado	Brasil	www.bettahidroturbinas.com.br	1	500
Canadian Hydro Components	Axial, Kaplan, Francis	Canadá	www.canadianhydro.com/products	100	25.000
Canyon Industries	Pelton, Francis, Flujo cruzado	USA	www.canyonhydro.com	4	25.000

Cargo y Kraft	Axial (VLH)	Suecia	www.cargo-kraft.se/en/	30	500
CINK Hydro-Energy s.r.o	Pelton, Flujo Cruzado	Czech	www.cink-hydro-energy.com/	10	3.500
Clean Current	Hidrocínéticas (Altura cero)	Canadá	http://www.cleancurrent.com/river-turbines	16	126
Clean Power AS - Turbinator	Axial (semi Kaplan)	Noruega	www.cleanpower.no	55	3.300
Cornell	Bombas como turbinas Pelton	USA	www.cornellpump.com/products/hydropumps.html www.cornellpump.com/lit/brochure/BR_HYDRO_TURBINE.pdf	1	350
Dependable Turbines Ltd.	Pelton, Turgo, Francis, Kaplan, Propeller and Fixed Flow Pump	Canadá	www.dtlhydro.com/products.htm	30	8.000
Dive	Axial	Alemania	www.dive-turbine.de/pages/es/referencias.php	23	800
Energy System and Design	Pelton, Turgo	Canadá	www.microhydropower.com/	0,03	1
Evans Engineering	Pelton, Turgo, Kaplan	UK	www.evans-engineering.co.uk/	0,1	950
Ganz	Francis, Pelton, Kaplan ; Bomba como Turbina	Hungría	www.ganz.info.hu/index.php/en/categories/water_turbines	50	50.000
Geppert	Pelton; Francis; Deriaz (Diagonal); Kaplan	Austria	www.geppert.at	50	15.000
Gilkes	Pelton, Francis, Turgo	UK	www.gilkes.com	20	20.000
GR Energia	Pelton, Turgo, Flujo Cruzado	Argentina	www.grenergia.com.ar	5	100
GUGLER Water Turbines GmbH	Pelton Francis espiral, vertical, Kaplan bulbo	Austria	www.gugler.com	5	50
Harris Hydroelectric	Pelton	USA	www.harrishydro.biz	0,5	1
Hoehenergie	Pelton	Suiza	www.hoehenergie.ch	1	30

Hydrolynk	Pelton, Francis, Kaplan	Noruega	www.hydrolynk.cz/en/reference-list/reference-list-34.html	8	3.000
Hydroquest	Hidrocínética	Francia	www.hydroquest.net/es/turbinas-fluviales/Gama-Hydroquest-River/	40	80
Hydrovolts	Hidrocínética Flujo Cruzado	USA	www.hydrovolts.com	1,5 3	12 15
Hydrolink sra	Kaplan, Francis, Pelton	República Checa	www.hydrolynk.cz/en/	8	10.000
Irem Spa	Pelton Flujo Cruzado	Italia	www.irem.it	0,05 1	750 150
JLA & Co	Flujo Cruzado	Bélgica	www.jlahydro.be	2	120
Köessler	Kaplan Francis Pelton	Alemania	www.koessler.com/en	16	4.000
KSB	Bombas como turbinas	Alemania	www.ksb.com/linkableblob/ksb-en/111124-302009/data/Pumpen_als_Turbinen_en-data.pdf	5	750
Mann	Tornillo de Arquímedes	UK	www.howshamhydro.co.uk	1	99
Mavel	Kaplan, Francis, Pelton	Czech	www.mavel.cz	4,5	220
Microwatt	Pelton Flujo Cruzado	Argentina	www.microwatt.com.ar/index.php/obras	20 55	70 150
Natel	Axial (2 etapas)	USA	www.natelenergy.com	10	300
Nautilus	Francis (VLH)	USA	www.waterturbine.com/	0,29	22
New Energy Corporation			www.newenergycorp.ca	5	125
Ossberger	Flujo Cruzado y axial	Alemania	www.ossberger.de/cms/es/home/	15	3.000
Rehart Power	Tornillo de Arquímedes	Alemania	www.rehart-power.de/en/home.html	21	250
Ritz Atro	Tornillo de Arquímedes	Alemania	www.andritz.com/oi-atro-hydrodynamic-screws-en.pdf	3	300
Jag Seabell Co. Ltd	Hidrocínéticas	Japón	http://www.jagseabell.jp	1	20
Smart Hydro Power GmbH	Hidrocínéticas	Alemania	www.smart-hydro.de/es/produkt.html	0,25	5
Tanaka	Flujo cruzado Francis	Japón	www.tanasui.co.jp/productsChartsEn.html	24 60	67 540
Toshiba International Corporation	Hydro-eKIDS	Japón	www.tic.toshiba.com.au/product_range/	5	200

Turab	Francis, Kaplan, Axial	Suecia	turab.com/en/	100	10.000
VLH	Axial	Francia	www.vlh-turbine.com	100	500
Wasserkraft	Kaplan, Pelton, Francis	Austria	www.wws-wasserkraft.at	25	5.000
WIEGERT AND BÄHR	Francis	Alemania	www.wb-wasserkraft.de	100	5.000
	Kaplan			100	3.000
	Pelton			100	5.000
	Flujo Cruzado			35	500
Zeco Cerbaro	Kaplan	Italia	www.zeco.it/?lang=es	60	6.000
	Francis			60	10.000
	Pelton			60	12.000
	Tornillo de Arquímedes			30	150

Fuente: Elaboración propia

Notas:

(1) Los tamaños bajo 5 kW se denominan picoturbinas o hidrocargadores y en general se fabrican en 110 VAC, 220 VAC o bien 12, 24 o 48 VDC; los voltajes altos en AC suelen solicitarse para transmitir a largas distancias

4.0 SELECCIÓN DE TURBINAS

Sobre la base de la información de caudales y altura de caída promedio, es posible determinar la turbina más adecuada mediante los criterios que se entregan en los puntos siguientes.

En la figura 4.1 se ilustra a grosso modo como cada tipo de turbina tiene relación con el par altura caudal. Las turbinas de impulso se emplean para grandes alturas y pequeños caudales y las de reacción en baja altura y grandes caudales; en el rango intermedio se encuentran aquellas de impulso que pueden aumentar su caudal por múltiples inyectores (Pelton multichorro o Turgo) y aquellas que en el rango intermedio operan como de acción con un grado de reacción (flujo cruzado, Francis o bombas como turbinas); en la parte inferior - altura cero - se incluyen las turbinas hidrodinámicas que operan con la energía cinética del fluido.

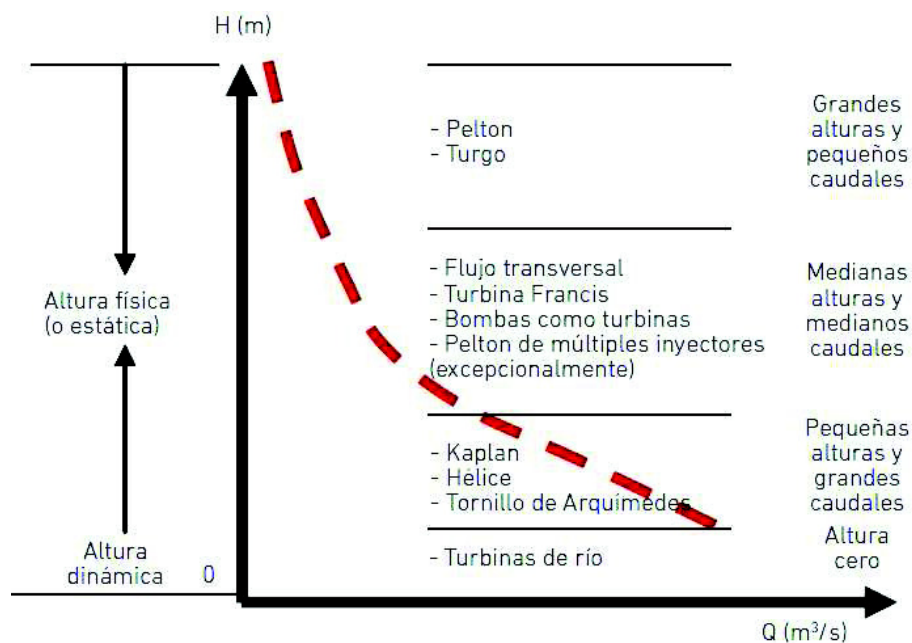


Fig. 4.1 - Aplicación de diferentes tipos de turbinas según caudal y altura de operación.

Fuente: Dávila, C. et. al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas" Soluciones Prácticas, Lima, Perú, 2010.

A continuación, se describen los métodos de selección por rapidez específica y diagrama.

4.1 Por Rapidez Específica

El tipo de turbina a emplear depende del número específico de revoluciones, que a su vez es función de condiciones de instalación tales como potencia instalada y altura de caída neta, y de parámetros de diseño tales como la velocidad rotacional. Se utilizan dos números específicos que es conveniente conocer, el número específico de revoluciones de potencia, o Número de Camerer (N_s) y el número específico de revoluciones de caudal, o Número de Brauer (N_q).

La expresión para el número específico de revoluciones de potencia, o Número de Camerer (N_s) es la siguiente:

$$N_s = N * P^{1/2} / H_n^{5/4}$$

donde,

P: Potencia neta en [HP]
H_n: Altura de carga neta, en [m]
N: Velocidad rotacional, en [rev/min]

Por otra parte, el número específico de revoluciones de caudal, o número de Brauer (N_q) se calcula así:

$$N_q = N * Q^{1/2} / H_n^{3/4}$$

Como la Potencia y el Caudal están relacionados, es posible también relacionar ambos números N_s y N_q en forma aproximada porque la potencia incluye el rendimiento de la turbina que no es un valor absoluto. De esta forma, si asumimos que una turbina tiene un rendimiento de 80%, la relación entre ambos números será

$$N_s = 3.3 * N_q$$

La potencia de una central hidroeléctrica, en bornes de generador está dada por

$$P = 9,81 * Q * H_n * \eta_g \text{ [kW]}$$

donde,

P: Potencia en bornes en [kW]
Q: Caudal, en [m³/s]
H_n: Altura de carga neta, en [m]
 η_g : Rendimiento global [%]

Ejemplo.

Se tiene un cauce con un caudal de 100 litros por segundo y un salto bruto de 20 metros. ¿Qué potencia podemos obtener y qué tipo de turbina usaríamos?

Si suponemos una pérdida de 4% en el conducto de alimentación, los valores de altura neta y caudal serán

$$H_n = 20 \text{ [m]} - 4\% = 19,2 \text{ [m]}$$

$$Q = 100 \text{ [l/s]} = 0,1 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Reemplazando con los datos y parámetros del embalse, para un valor de $\eta_g = 0,80$ se obtienen los siguientes valores:

$$P = 9,81 * Q * H_n * \eta_g = 9,81 * 0,1 * 19,2 * 0,80 = 15 \text{ [kW]}$$

$$P = 15.000 \text{ [W]} / 736 \text{ [W/HP]} = 20,4 \text{ [HP]}$$

Para la velocidad de rotación elegimos un múltiplo de 1.500, por ejemplo:

$$N = 500 \text{ [RPM]}$$

$$P = 20,4 \text{ [HP]}$$

En consecuencia, los valores para seleccionar el tipo de turbina son los siguientes:

$$N_s = N * P^{1/2} / H_n^{5/4} = 500 * (20,4)^{1/2} / (19,2)^{5/4} = 56$$

$$N_q = N * Q^{1/2} / H_n^{3/4} = 500 * (0,1)^{1/2} / (19,2)^{3/4} = 17$$

Tabla 4.1 - Selección del tipo de turbina basado en el número específico

TIPO DE TURBINA	N_s	N_q	H_n
Pelton de un inyector	10 - 29	3 - 9	50 – 1.300
Pelton de varios inyectores	29 - 59	9 - 18	
Turgo	10 - 125	3 - 38	30 - 300
Flujo cruzado (Michell-Banki)	29 - 220	9 - 68	3 - 200
Francis lenta	59 - 124	18 - 38	10 - 350
Francis normal	124 - 220	38 - 68	
Francis rápida	220 - 440	68 - 135	
Hélice y Kaplan	342 - 980	105 - 980	2 - 20

De acuerdo con la Tabla 4.1 podemos seleccionar una turbina del tipo flujo cruzado (Michell-Banki). Además de los números específicos de potencia y caudal se ha incluido una columna con las alturas típicas para cada tipo de turbina.



Fig. 4.1 Turbina Michell-Banki
Fuente: Wasserkraft Volk y Ossberger (Alemania)

4.2 Por Diagrama con rangos de aplicación

Para la selección de las turbinas también se pueden usar diagramas genéricos - como el de la figura siguiente - o bien el que entregue un proveedor para la línea de turbinas y modelos que fabrica.

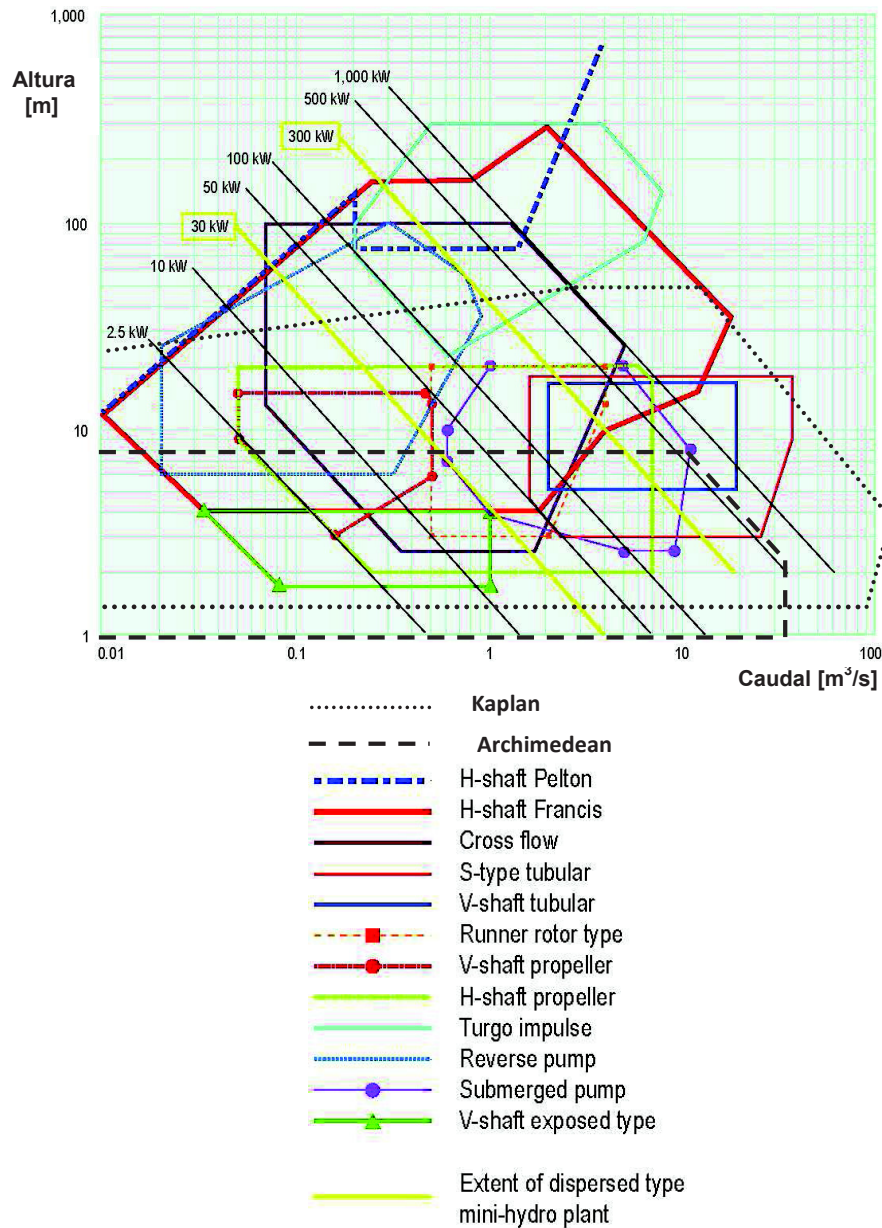


Fig. 4.2 - Rangos de aplicación y selección de las turbinas

Fuente: Department of Energy - Energy Utilization Management Bureau "Manuals and Guidelines for Micro-hydropower Development in Rural Electrification" JICA Volume I, Filipinas, June (2009) y; <http://www.3helixpower.com/hydropower/types-of-turbines/attachment/turbine-operating-regions-3/>

En algunas páginas web los fabricantes tienen diagramas para seleccionar turbinas en que sólo es necesario ingresar caudal y altura, y el diagrama entrega la potencia inmediatamente. Para su aplicación debe tomarse la precaución necesaria ya que el diagrama de la empresa está hecho sólo para seleccionar aquellas turbinas que fabrica. Para ilustrar lo anterior, si una combinación caudal-altura queda en el rango de aplicación de la turbina Francis que él fabrica va a seleccionar un modelo de su línea, pero también podría estar en el rango de las turbinas Flujo Cruzado, pero si esas turbinas no están en su línea de fabricación, no aparecerá seleccionada. Por ejemplo, en el diagrama de un fabricante austríaco que se muestra en la figura 4.3, se ingresó una combinación de 250 [l/s] y 40 [m], para el cual el diagrama entrega un valor de potencia de 88 [kW] y selecciona una turbina Francis (área amarilla). Las otras turbinas que fabrica son Pelton (área rosada) y Kaplan (área celeste). En la figura 4.4 un fabricante alemán - para la misma combinación de caudal y altura - indica que la potencia también de salida en bornes es de 88 kW pero recomienda una turbina de Flujo Cruzado.

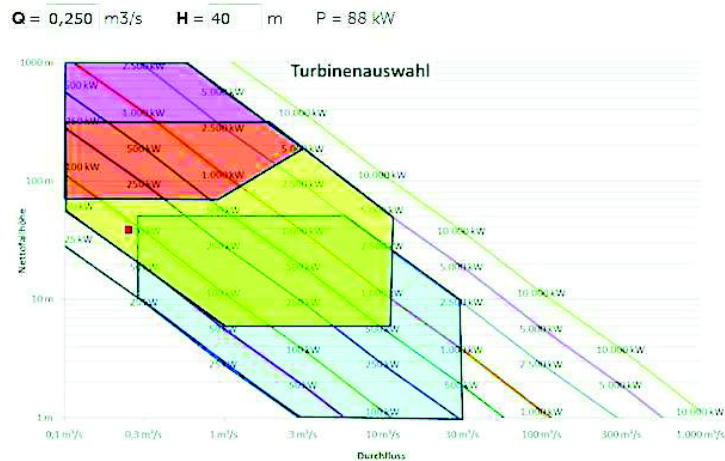


Fig. 4.3 - Diagrama de selección de turbina fabricante 1
Fuente: <http://www.wws-wasserkraft.at/en/water-turbines-technology.html>

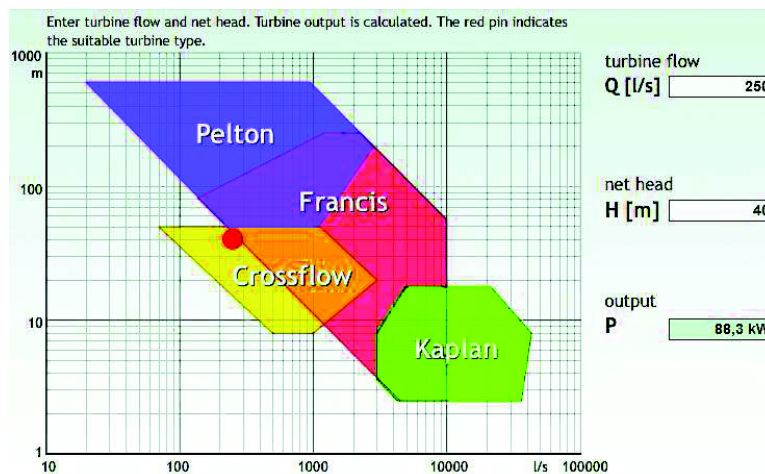


Fig. 4.4 - Diagrama de selección de turbina fabricante 2
<http://www.wb-wasserkraft.de/flash/en/index.html>

4.3 Eficiencia de turbina

Cuando se requiere de calcular las potencias instantáneas o nominales se puede usar para una turbina un diagrama como el presentado en la figura siguiente. Lo más común es que cada fabricante entregue un diagrama de rendimiento relativo para sus turbinas y cuando el fabricante cotiza indica el valor máximo en el punto nominal o bien entrega los valores de rendimiento absolutos η % (ordenada) versus $Q/Q_{\max}$ (abscisa) como los presentados en la figura 4.5 .

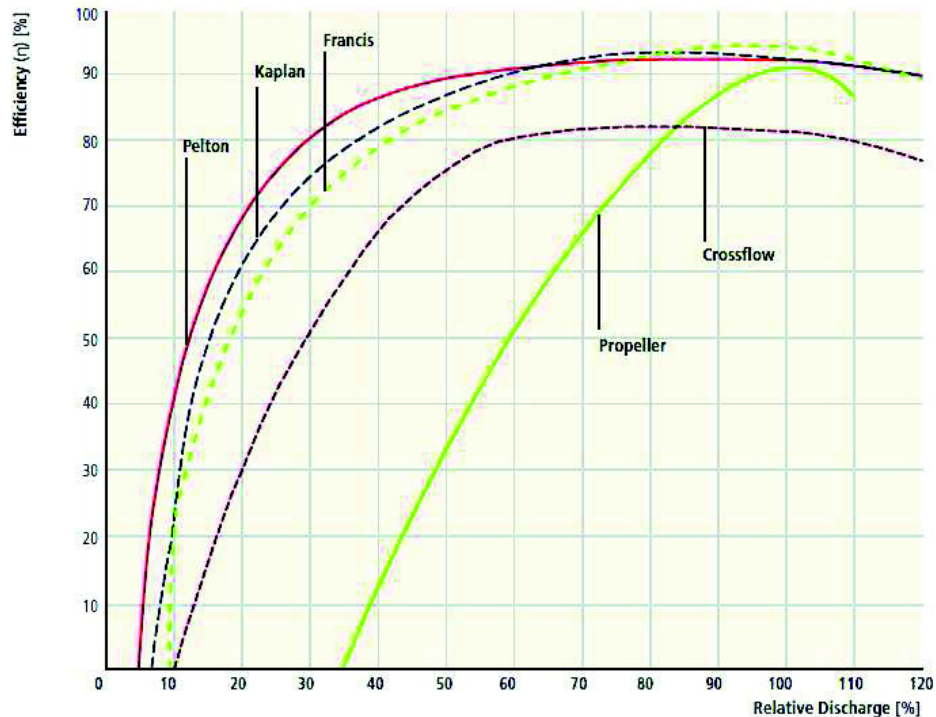


Fig. 4.5 -Curvas típicas de eficiencia para diferentes tipos de turbinas

Fuente: Kumar, A., et. al. "Hydropower. In *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*" [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (2011)

Los valores de la figura 4.5 se emplean para calcular la potencia para cada rango de caudal cuando se calcula energía generada.

5.0 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO Y REGIMEN DE CRECIDAS

5.1 El ciclo hidrológico

El caudal de un río depende de la zona de captación y del volumen de precipitaciones. En la Figura 5.1 se muestra cómo la precipitación se divide en ambos lados (A y B) de la cuenca. Por ejemplo, si hay una Central Hidroeléctrica existente en la ladera A, las precipitaciones al lado B no pueden ser utilizadas para la generación de energía en esta Central Hidroeléctrica. Por lo tanto, la zona de captación de una planta hidroeléctrica propuesta debe ser conocida como primer paso del estudio para el desarrollo de un aprovechamiento.

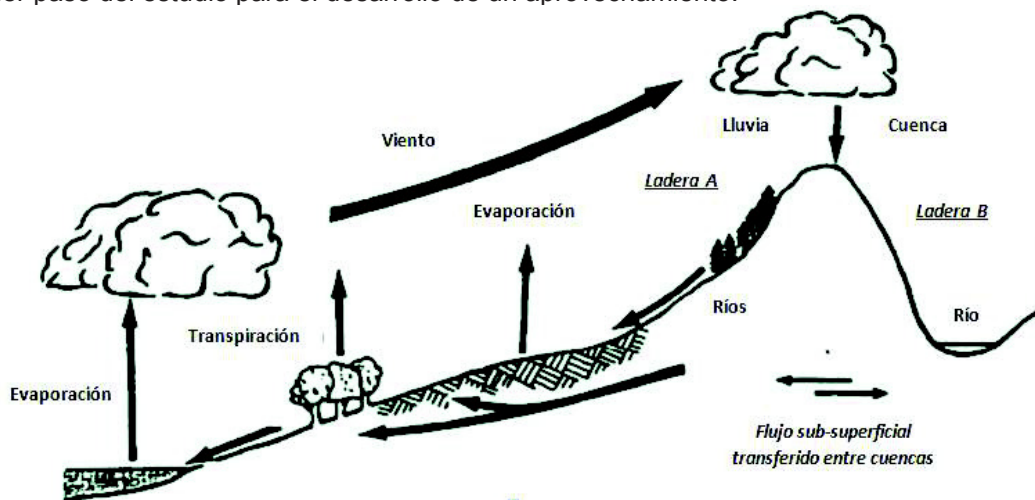


Fig. 5.1 - El ciclo hidrológico

Fuente: Department of Energy - Energy Utilization Management Bureau "Manuals and Guidelines for Micro-hydropower Development in Rural Electrification" JICA Volume I, Filipinas, June (2009)

Las líneas discontinuas en la figura 5.2 indican la cuenca del punto A y el punto B.

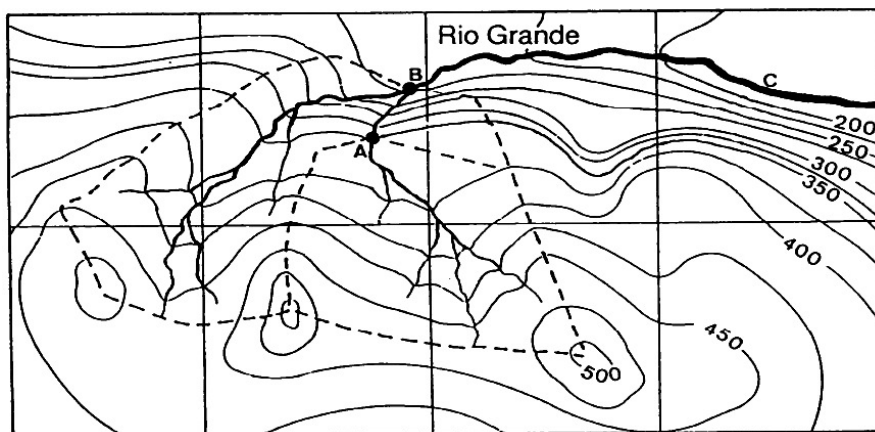


Fig. 5.2 Áreas aportantes en una cuenca entre dos cursos a un mismo punto B.

Fuente: Department of Energy - Energy Utilization Management Bureau "Manuals and Guidelines for Micro-hydropower Development in Rural Electrification" JICA Volume I, Filipinas, June (2009)

La delimitación de las cuencas (parte aguas) y puntos importantes (bocatoma, restitución, Casa de Máquinas, accesos, quebradas, etc.) puede hacerse en cartas IGM 1: 50.000, o bien en Google Earth; actualmente para este último programa existe software que agrega las curvas de nivel sobre la imagen de la cuenca.

5.2 Análisis estadístico de la información hidrométrica

5.2.1 Histograma de frecuencia de caudales

El histograma de frecuencia de caudales presenta - en abscisa - el caudal medio correspondiente a un determinado rango la frecuencia o número de datos presentes en la serie, en ordenada.

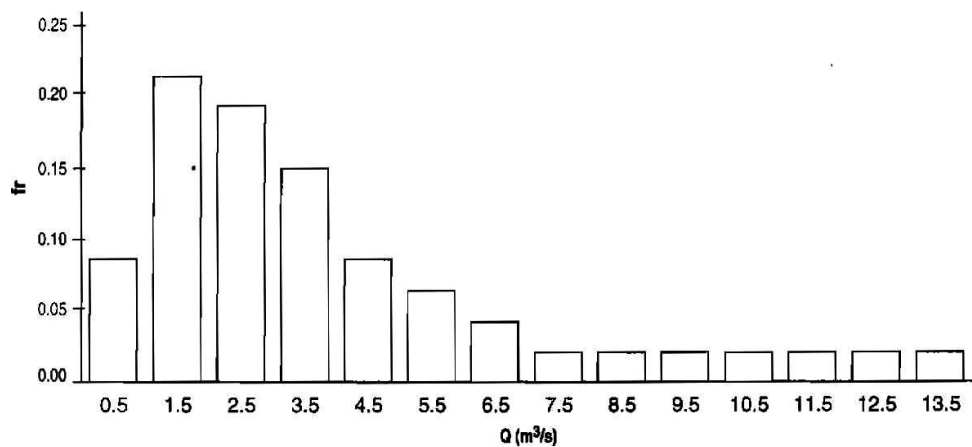


Fig. 5.3 - Histograma de frecuencia de caudales

La interpretación del valor en la gráfica es que por ejemplo aproximadamente el 21 % del tiempo está presente un valor medio de 1,5 [m^3/s], que corresponde al valor medio en el rango entre 1 y 2 [m^3/s].

La frecuencia puede estar expresada en tanto por uno o por ciento y de ella se obtiene la frecuencia acumulada que se emplea para obtener la Curva de Duración de Caudales.

5.2.2 Curva de Duración de Caudales (CDC)

Es un procedimiento gráfico para el análisis de la frecuencia de los datos de caudales y representa la frecuencia acumulada de los caudales medios diarios o mensuales, indicando el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales igualan o exceden un dado valor.

Si disponemos de un número "n" de datos de caudales, el tratamiento estadístico está encaminado a evaluar la probabilidad de que se presente en el futuro un caudal mayor o menor que un determinado valor, o evaluar qué caudal se superará un determinado % de los años, para tener presente la probabilidad de que se produzcan crecidas o estiajes.

Hay que ordenar los datos disponibles de menor a mayor, olvidando su orden cronológico, y calcular para cada uno de ellos la probabilidad (frecuencia relativa) de que el caudal o aportación alcance ese valor.

Las curvas de duración de caudales suministran información sobre el porcentaje del tiempo que el río lleva un caudal superior o inferior a un determinado valor, pero no reflejan la distribución o secuencia de dicho periodo ni el momento del año en que se produce, lo cual puede tener una gran importancia para las especies acuáticas. La pendiente de la curva depende del tipo de datos disponibles (ver Figura 5.4); si se trata de caudales diarios estos producen una curva con más pendiente que una calculada con caudales mensuales; en la CDC de acuerdo al tipo de dato empleado - diario, mensual o anual - y la regulación, la curva varía de la forma como se presenta en la Fig. 5.4

Si se dibuja en papel logarítmico, la curva se transforma en una recta y la pendiente refleja la variación del caudal de la forma siguiente:

- Si la recta tiene mucha pendiente indica caudales muy variables
- Si la pendiente es pequeña indica respuestas lentas a la lluvia y variaciones pequeñas de caudal.

Las curvas de duración se utilizan para la evaluación del potencial hidráulico de un río, para estudios de control de inundaciones, en el diseño de sistemas de drenaje, para calcular las cargas de sedimento y para comparar cuencas hidrográficas.

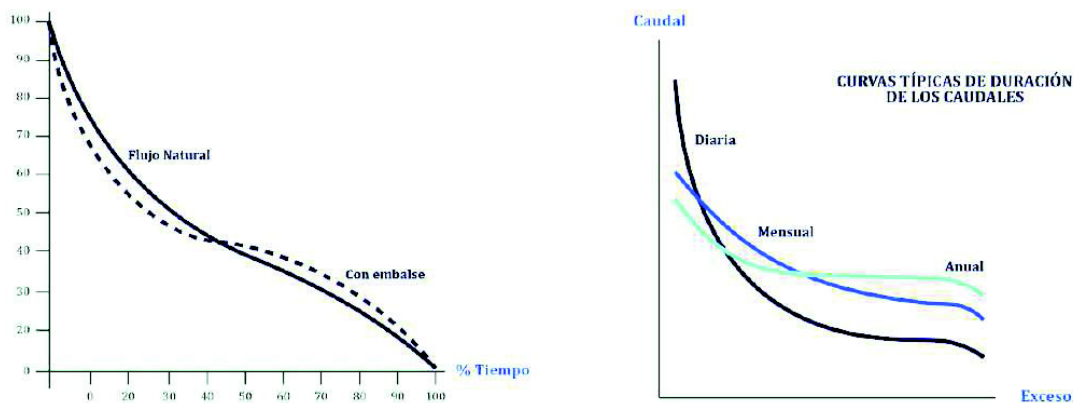


Fig. 5.4 - Curvas de Duración de Caudales, con regulación (izq.) y formas según el tipo de dato empleado (diario, mensual, anual) (der.)

Fuente: ONUDI "Energía Minihidráulica - Aplicación a su desarrollo en Latinoamérica y Caribe" Agradada, T., Mancebo, J.A. y Martínez, C. (2013).

Idealmente, para efectos de venta de energía, debiera generarse una curva de caudales diarios para determinar la generación y los parámetros de la rentabilidad de la instalación (retorno de la inversión, TIR, VAN);

Por medio de esta curva se definen también los siguientes caudales característicos (Fig. 5.5):

- **Caudal medio anual:** Valores promedio de los 12 caudales medios mensuales (para cada año).
- **Caudal mínimo probable o de estiaje:** es el caudal que la corriente debe suministrar durante todo el año con una probabilidad de excedencia del 95%
- **Caudal de servidumbre (Qsf):** el necesario que hay que dejar en el río por su cauce normal. Incluye el caudal ecológico y el necesario para otros usos.
- **Caudal mínimo técnico (Qmt):** es aquel directamente proporcional al caudal de equipamiento con un factor de proporcionalidad, K, que depende del tipo de turbina:

$$Q_{mt} = K * Q_e$$

- **Caudal de equipamiento o caudal nominal (Qe):** es el caudal que puede turbinarse con una determinada turbina hidráulica; es el que indica el proveedor en su propuesta de equipo y corresponde al indicado en la placa del equipo

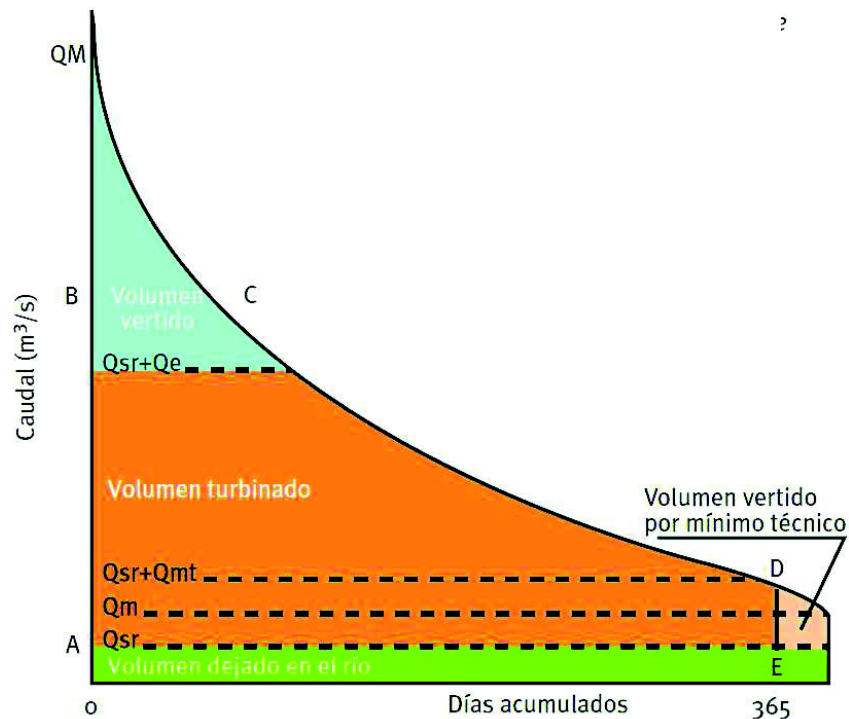


Fig. 5.5 - Curva de Duración de Caudales

Fuente: IDAE "Minicentrales hidroeléctricas" Octubre, 2006 (España)

Para una primera aproximación, se pueden tomar los siguientes valores de K como indicativos:

- | | |
|--------------------------------|---------|
| - para turbinas PELTON: | K= 0,10 |
| - para turbinas TURGO: | K= 0,20 |
| - para turbinas FLUJO CRUZADO: | K= 0,10 |
| - para turbinas KAPLAN: | K= 0,25 |
| - para turbinas SEMIKAPLAN | K= 0,30 |
| - para turbinas FRANCIS | K=0,20 |

El caudal de equipamiento Q_e se elegirá de forma que el volumen turbinado sea máximo, es decir, el área encerrada en la Figura 5.5 entre los puntos A, B, C, D, E, A sea máxima .

La selección del caudal de diseño depende de varios factores y a veces no se elige el caudal que proporciona mayor producción, ya que hay que tener en cuenta otros factores como pueden ser: tiempo de permanencia de una determinada potencia (por ejemplo un sistema aislado), la inversión necesaria, instalaciones ya existentes que condicionan el caudal a derivar (por ejemplo, canales, tubería, etc.), los caudales mínimos que pueden dejar fuera de servicio el equipo u otras causas.

5.2.3 Caracterización de una cuenca

Los siguientes parámetros son los requeridos para caracterizar una cuenca:

a) Área de drenaje, A

El área de la cuenca se medirá en la carta IGM ya sea utilizando un planímetro mecánico o bien con software CAD.

b) Forma de la cuenca

Esta característica es importante pues se relaciona con el tiempo de concentración.

El tiempo de concentración es el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la cuenca contribuya a la sección de las corrientes en estudio; en otras palabras, es el tiempo que toma el agua desde los límites extremos de la cuenca hasta llegar a la salida de la misma; los coeficientes utilizados para caracterizar esta variable son los siguientes:

- **Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius, K_c**

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual al de la cuenca:

$$K_c = 0,28 * P / A^{1/2}$$

Donde P es el perímetro de la cuenca, en [km] y A es el área de drenaje de la cuenca, en [km²].

Las cuencas redondeadas tienen tiempos de concentración cortos con picos de gasto muy fuertes y recesiones rápidas, mientras que las alargadas tienen picos de gasto más atenuados y recesiones más prolongadas.

Tabla 5.1 – Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad K_c

Clase de Forma	Índice de Compacidad (K_c)	Forma de la Cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval - redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval - redonda a oval - oblonga
Clase II	1.51 a 1.75	Oval - oblonga a rectangular - oblonga

Fuente: Ortiz Vera, Oswald. “Evaluación Hidrológica”. Revista Hidrored N° 1 (2004), Página 2

El coeficiente de compacidad en la cuenca indica la tendencia de esta a las crecidas; mientras más redonda u ovalada es mayor es la tendencia crecidas fuertes y recesiones rápidas, y viceversa.

- **Factor de Forma, F**

Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños, respectivamente. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca y se expresa de la manera siguiente:

$$F = A / L^2$$

- **Altura media de la cuenca, H**

Es el parámetro ponderado de las altitudes de la cuenca obtenidas en la carta o mapa topográfico. En cuencas andinas este parámetro está relacionado con la magnitud de la lámina de precipitación, variación lineal muy importante en estudios regionales donde la información local es escasa.

$$H = 1/A \sum_{i=1}^n H_i * A_i$$

Donde,

- Hm: Altitud media (m s.n.m.)
- H_i : Altura correspondiente al área acumulada A_i sobre la curva H_i
- A: Área de la Cuenca
- n: Número de áreas parciales

- **Curva hipsométrica de la cuenca**

Es frecuente definir el relieve de una cuenca por medio de la denominada curva hipsométrica, la cual representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes ya que este factor de topografía o relieve puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma de la misma.

La curva hipsométrica o curva de área - elevación se construye determinando con un planímetro el área entre curvas de nivel y representando en una gráfica el área acumulada por encima o por debajo de una cierta elevación, en función de la cota de referencia.

En la Figura 5.6 y Tabla 5.2 se muestran los valores de la distribución de las áreas en función de las elevaciones del terreno, así como la curva hipsométrica generada para una cuenca hipotética

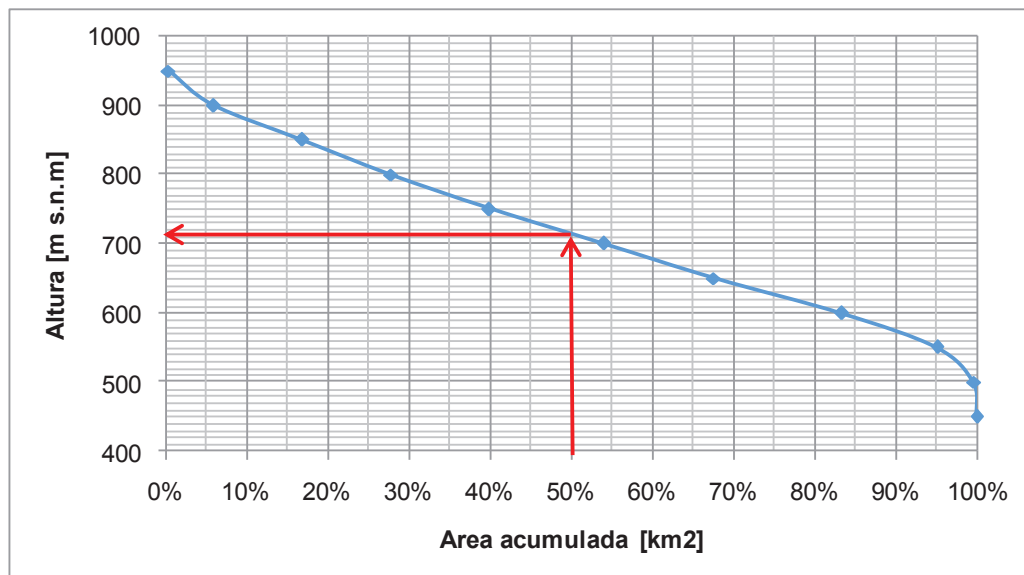


Fig. 5.6 - Ejemplo de Curva Hipsométrica de un cauce mostrando la altura media de la cuenca.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.2 - Distribución de áreas y elevación en una cuenca

Superficie [km ²]	Acumulado [%]	Elevación [m s.n.m]
0,01	0,3%	950
0,22	5,8%	900
0,64	16,9%	850
1,06	27,7%	800
1,52	39,8%	750
2,06	54,0%	700
2,57	67,5%	650
3,18	83,4%	600
3,62	95,1%	550
3,79	99,6%	500
3,81	100,0%	450

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5.7 y Tabla 5.3 se presentan los valores medidos de cota y tramo del cauce para la determinación de la pendiente del mismo.

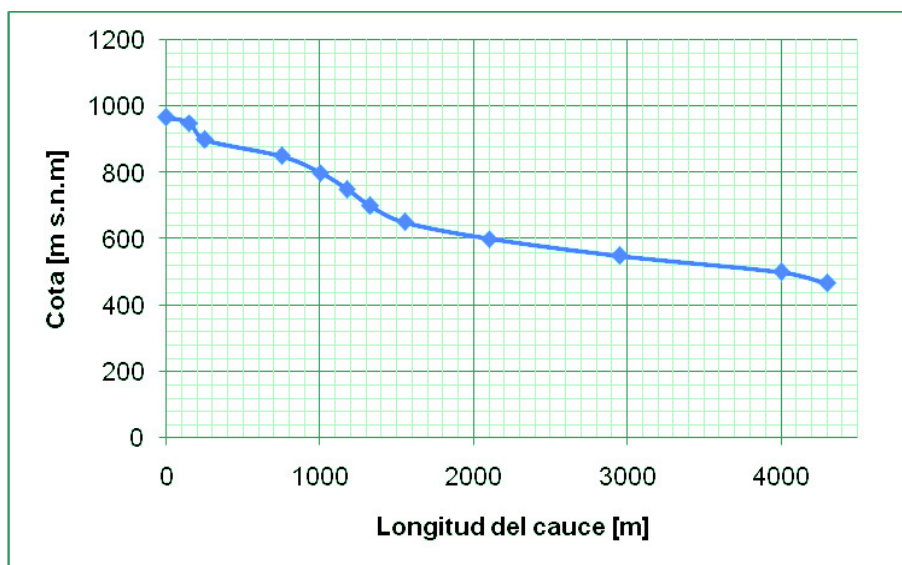


Fig. 5.7 - Pendiente de un cauce
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3 - Estimación de pendiente de un cauce

Longitud parcial [m]	Longitud acumulada [%]	Elevación [m s.n.m]
0	0	967
150	150	950
100	250	900
500	750	850
250	1000	800
175	1175	750
150	1325	700
225	1550	650
550	2100	600
850	2950	550
1050	4000	500
300	4300	463

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Información Meteorológica (fluviométrica y/o pluviométrica)

Se suele presentar los siguientes casos:

- *Cuencas con suficiente información, referente a precipitación, descargas y climatología general.*
- *Cuencas con escasa o nula información (descargas y/o precipitación)*

a) Fuentes que disponen de control fluviométrico

En este caso se verificara la calidad de la estadística disponible, efectuando su homogenización, relleno y extensión cuando corresponda, utilizando para ello métodos hidrológicos convencionales, empleándose una serie no inferior a 25 años, consecutivos de la estadística anteriores a la fecha de postulación del concurso.

En aquellas estaciones fluviométricas que existan más de 25 años se debe adjuntar y utilizar toda la estadística disponible, con el fin de obtener una mejor aproximación. Se deberán efectuar las correcciones hidrológicas que procedan, entre la estación de control considerada y el punto de captación que consulta el proyecto.

b) Fuentes que no disponen de control fluviométrico

Este último es el caso más crítico, pero a la vez el más frecuente. En este caso, se recomienda como alternativa transferir información desde otra cuenca vecina empleando criterios de similitud. Por lo general, la información más abundante es la referente a precipitación total, pero si no se cuenta es posible generarla fácilmente por procedimientos de regionalización, en cambio las intensidades máximas de precipitación y las escorrentías o flujos de descarga, constituyen casi siempre una información nula en el área del proyecto.

Para el caso de pequeñas centrales hidroeléctricas, casi siempre las fuentes de agua lo conforman cauces naturales de microcuencas sin ninguna información, o a lo sumo con información pluviométrica en otras cuencas vecinas por lo que el hidrólogo puede convertir por métodos establecidos la precipitación en escorrentía (Peñuelas, Grunsky, Wundt, Turc, Coutagne, etc.). Para ello, los registros históricos de precipitaciones mensuales de ambas cuencas, se someten a un proceso estadístico de análisis de consistencia. Luego se completan y se extienden las series, por métodos de regresión lineal simple, que generalmente corresponde a el coeficiente de correlación; la serie a generar en caudales medios mensuales debiera tener una extensión no inferior a 25 años.

La información meteorológica y fluviométrica se descarga sin valor desde el sitio web de la Dirección General de aguas (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>).

Es muy común que las microcentrales hidroeléctricas se ubican en pequeñas quebradas donde - como se indicó - generalmente no hay registros de aforos. Por ello la NRECA (National Rural Electric Cooperative Association) de los Estados Unidos de Norteamérica propuso un método de cálculo del escurrimiento mensual, basado en datos meteorológicos de la cuenca. Este método puede aplicarse a cuencas menores de 1.000 [km²], predominantemente pluviales donde no hay acumulación significativa de nieve, ni regulación de caudal de ríos por grandes lagos. Los autores de este método consideran que durante e inmediatamente después de

fuertes precipitaciones - debido a que el terreno está saturado de agua - la mayor parte de las lluvias se mueve como escurrimiento superficial hacia los ríos como caudales de avenida. Posteriormente, el agua que es absorbida por el terreno y suelo orgánico de los sotobosques durante las lluvias, se mueve como flujo subterráneo hacia los ríos o quebradas y los provee de agua en períodos en que no se presentan lluvias (figura 5.8). El método indicado se puede encontrar en la publicación ITDG *"Manual de micro y minicentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos"* por Sánchez, Teodoro y Javier Ramírez, Perú (1995) pp. 48 - 51, que aunque no es de uso común ni aceptado en Chile, los resultados que arroja son muy similares al denominado Modelo SIMED.

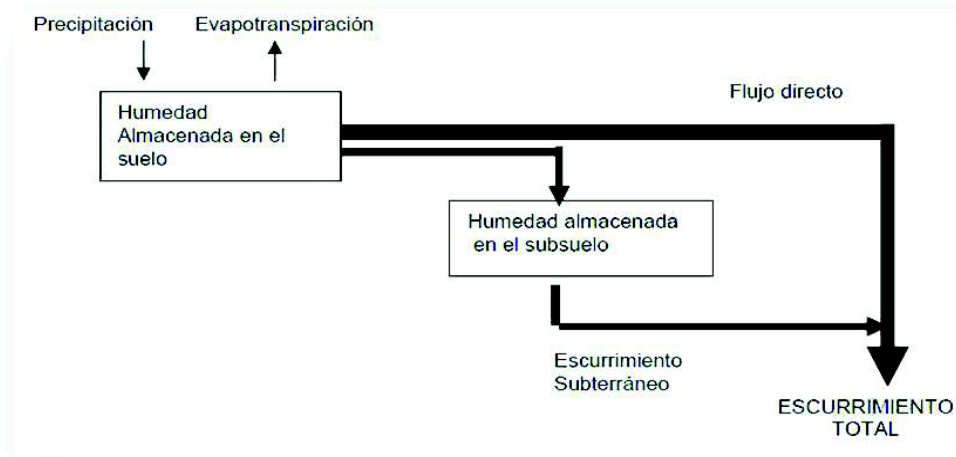


Fig. 5.8 - Flowsheet típico de Balance hidrológico de una cuenca (Método NRECA)

Fuente: ITDG *"Manual de micro y minicentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos"* por Sánchez, Teodoro y Javier Ramírez, Perú (1995) pp. 49.

Otro aspecto importante es que cuando se generan series de caudales por cualquiera de los métodos descritos es necesario corroborar los datos y la mejor forma son por medio de registros de aforos que se hayan realizado en el cauce , por ello es muy útil obtener estos valores ya sea porque han sido realizados por los propios interesados a través de vertederos de aforo, molinetes, dilución salina u otro métodos o bien por la propia de DGA cuando se ha concedido el Derecho de Aprovechamiento, para lo cual se recomienda solicitar el correspondiente expediente en la oficina regional y revisar si hay registro de ello.

5.2.5 Medición de altura bruta

El texto es transcrito desde el libro de Dávila, C.; et al. *"Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas"* Soluciones Prácticas, Lima, Perú, 2010. pp. 33 - 42 en forma casi literal, por su utilidad y confiabilidad, al ser desarrollado por autores con gran experiencia de terreno.

A continuación se describen métodos prácticos para la evaluación de la altura bruta de carga. La utilización de cualquiera de estos dependerá de los materiales y equipos que se pueda llevar o encontrar en el lugar de evaluación, nivel de estudio (perfil, prefactibilidad, factibilidad), así como el tamaño del proyecto (pico, micro o minicentral hidráulica), también en algunos casos se tomará en cuenta el esquema de financiamiento del proyecto.

Los mapas con curvas de nivel sirven para hacer una primera estimación del salto disponible y pueden utilizarse para estudios de prefactibilidad de microcentrales hidráulicas (MCH). En los estudios de factibilidad y en los definitivos es necesario realizar mediciones en el lugar, a fin de obtener una mayor precisión. Por lo general, se requiere precisiones de 3 % o más, puesto que la caída o salto es un parámetro importante en el diseño del proyecto.

Es recomendable efectuar tres mediciones y analizar los resultados en el lugar con el propósito de corregirlos u obtener nuevas medidas en caso fuera necesario (por ejemplo, si las tres mediciones realizadas son demasiado discordantes).

Como se puede apreciar en la tabla 5.4, existen varios métodos para medir la altura. En esta tabla se incluyen también algunas observaciones sobre la precisión y otros detalles de cada método.

Tabla 5.4 – Métodos de medición de caída bruta

Método	Ventajas y limitaciones	Precisión	Observaciones
Manguera de nivelación	Agotador para caldas altas, rápido para pequeñas caldas	Aproximadamente 5 %	Recomendable hacerlo con dos personas
Manguera y manómetro	Rápido, seguro. Facilita medir la longitud de la tubería de presión a la vez	< 5 %	Calibrar instrumentos
Nivel de carpintero y tablas	No es apropiado para pendientes suaves y largas, lento	Aproximadamente 5 % en pendientes pronunciadas, poca precisión en pendientes suaves (10-20 %)	Usar solo para caldas pequeñas cuando no se dispone de otro método
Altimetro	Usado en caldas altas y medianas (>40 m), rápido	Propenso a grandes errores (30 %)	Calibrar instrumentos, tener destreza. Tomar 2 o 3 medidas
Eclímetro y wincha	Rápido, facilita medir la longitud de la tubería de presión a la vez	Buena, 5 %	Muy útil para terrenos despejados. Usado en todos los lugares, especialmente donde otros métodos son lentos
Nivel de ingeniero	Rápido, costo alto	Muy buena	No es adecuado en lugares donde hay muchos árboles y arbustos
Mapa	Solo para caldas altas, no se necesita viajar al lugar y tiene bajo costo	Aceptable para perfiles y prefactibilidad	Se necesita destreza para leer planos

Fuente: ITDG *"Manual de micro y minicentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos"* por Sánchez, Teodoro y Javier Ramírez, Perú (1995) Pág.34

- **Método de la manguera de nivelación**

Este método se basa en el principio de los vasos comunicantes y es recomendado especialmente para lugares con pequeñas alturas, es económico, razonablemente preciso y poco propenso a errores. En la figura 5.9 se muestra el principio del método. Se recomienda eliminar las burbujas de aire en la manguera, ya que podrían llevar a errores.

Es necesario realizar dos o tres pruebas separadas para estar seguros de que los resultados finales sean correctos y confiables. De ser posible, hay que confrontar los resultados usando otros métodos.

La precisión de este método puede ser sorprendente, incluso cuando se usa como altura referencial la estatura de una persona. Los habitantes de un pueblo colombiano midieron una caída como *"48 luises y medio"* (Luis era el hombre que conducía la prueba), lo que traducido a

longitud total fue 81,6 m, pruebas posteriores hechas a gran costo, indicaron una longitud de 82,16 m, es decir menos de 3 % de diferencia.

a. Equipo necesario

- 1 manguera transparente de 3/8" o 1/2" de diámetro x 5 m de longitud
- 2 tapones de madera o similar para tapar la manguera en ambos extremos
- 1 huincha (cinta métrica) de 5 m
- 2 reglas de madera graduadas en centímetros
- Estacas de madera
- 1 comba de 3 libras
- 1 balde de 8 litros
- 1 libreta de notas y 1 lapicero
- 2 personas (mínimo)

b. Procedimiento

- Llenar la manguera con agua haciendo uso del balde, tener cuidado de que no queden burbujas de aire atrapadas en el conducto
- Seleccionar el trazo a recorrer, de arriba hacia abajo desde la futura cámara de carga o de abajo hacia arriba partiendo de la futura casa de máquinas

Si asumimos empezar desde la futura cámara de carga, los pasos a seguir son:

- La persona X coloca una estaca en B1, haciendo coincidir el nivel de agua de la futura cámara de carga con un extremo de la manguera. A continuación, la persona Y se traslada cuesta abajo con el otro extremo, buscando el equilibrio del agua. Luego de esperar un tiempo prudente (estabilización del agua en ambos extremos), la persona Y registra la lectura en la regla graduada o mide con la huincha en A1. Enseguida, coloca otra estaca en el pie de la regla (B2)
- Para obtener la siguiente lectura, la persona Y permanece en su lugar y la persona X se desplaza cuesta abajo; una vez obtenido nuevamente el equilibrio del agua dentro de la manguera en ambos extremos, la persona X mide la lectura A2 y la persona Y, la lectura B2
- Repetir el proceso hasta llegar al lugar definido como la futura casa de fuerza. Registrar los datos teniendo en cuenta el modelo de la figura 4

Nota 1: si el suelo no tiene una pendiente definida, seguir el mismo principio, pero sustrayendo las mediciones apropiadas.

Nota 2: una alternativa a la regla graduada es usar la distancia de los pies o los ojos de una persona como altura de referencia. Esto es efectivo en muchas situaciones. Si la caída está por encima de 60 m; la precisión requiere estar solo dentro de la mitad de la altura de una persona (alrededor de 1,5 m).

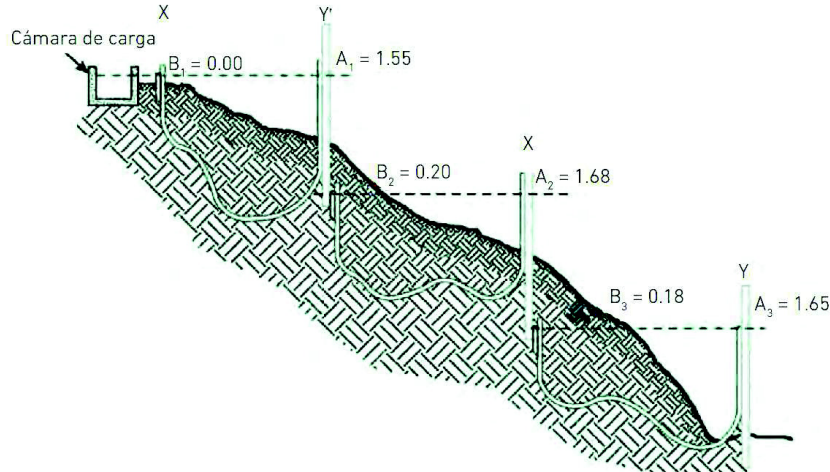


Fig. 5.9 - Determinación de la altura con manguera de nivelación
Fuente: Ibídem Pág.36

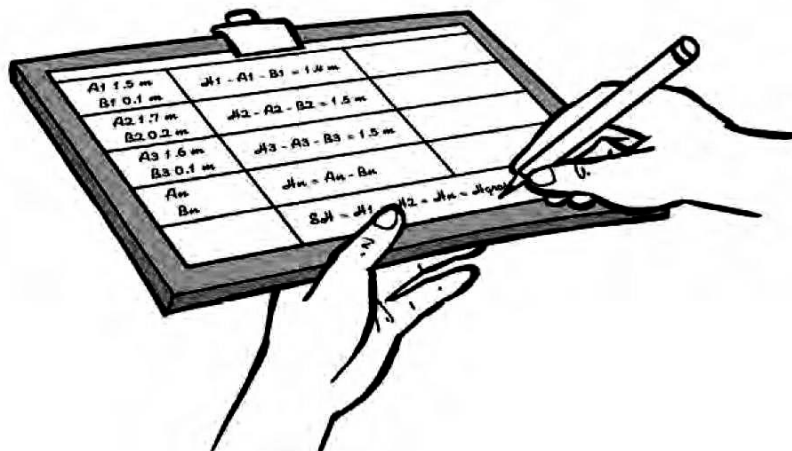


Fig. 5.10 - Modelo de tabla de registro de datos
Fuente: Ibídem Pág.36

- **Método de la manguera y el manómetro**

Este es probablemente el mejor de los métodos simples disponibles, pero tiene sus riesgos. Los dos posibles errores son la mala calibración del manómetro y la presencia de burbujas en la manguera. Para evitar el primer error se deberá calibrar el instrumento antes y después de cada prueba en el lugar (ver Fig.5.12). Para evitar lo segundo se deberá utilizar una manguera de plástico transparente que permita ver si existen burbujas a eliminar. Este método puede ser usado tanto en caídas altas como bajas, pero necesitará manómetros con diferente escala.

Se recomienda utilizar de preferencia mangueras con diámetros entre 6 y 8 mm. Diámetros menores pueden permitir el ingreso de burbujas de aire mientras que mangueras más gruesas resultan pesadas.

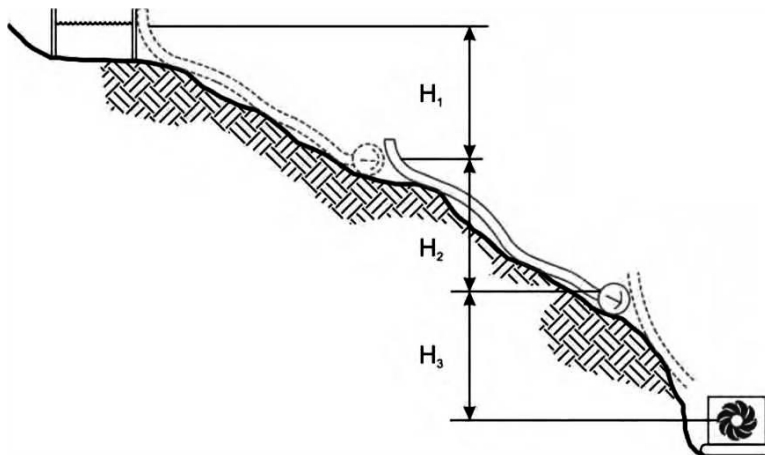


Fig. 5.11 - Modelo de tabla de registro de datos

Fuente: Ibídem Pág.37

a. Equipo necesario

- Manguera plástica transparente
- Manómetro de precisión
- Papel milimetrado
- Huincha de 5 m
- Libreta de notas y lápiz
- Curva de calibración

b. Procedimiento

- Calibrar el manómetro
- Anotar las mediciones en cada tramo
- Convertir cada medición en su verdadera magnitud usando la curva de calibración. Una lectura del manómetro en kPa (Kilo Pascales) o PSI (Libras por pulgada cuadrada) se puede convertir a un valor en metros, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$H [m] = P [kPa] / 9.81$$

$$H [m] = P [PSI] * 0.7045$$

Donde **P** es la presión medida en el manómetro

- Una vez obtenidas las alturas parciales, se suman para obtener la altura total.

c. Calibración del manómetro

- Use papel milimetrado para hacer la curva de calibración (ver Fig.5.12)
- Medir cuidadosamente una distancia vertical, usando una escalera y repetir usando la huincha

- Tome alrededor de 5 lecturas barriendo en lo posible desde la menor magnitud hasta la máxima
- Grafique los resultados en un sistema de coordenadas, una los puntos obtenidos y prolongue la línea obtenida (debe ser una recta)

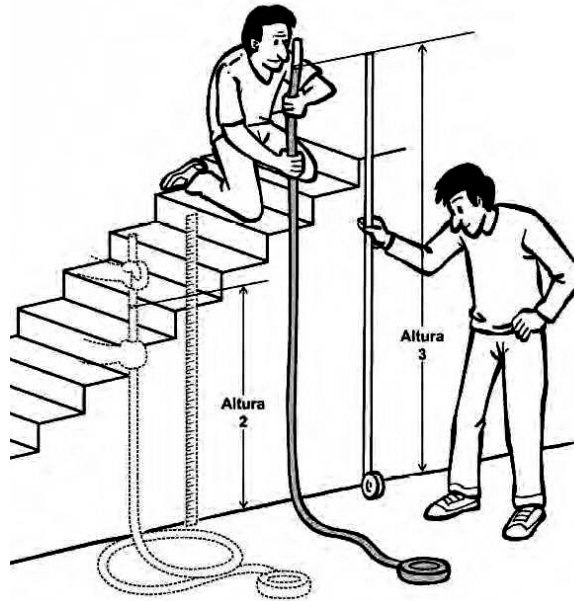


Fig. 5.12 – Calibración del manómetro
Fuente: Ibídem Pág.38

Nota: la manguera debe ser transparente para permitir ver claramente las burbujas atrapadas. El manómetro debe ajustarse bien a la manguera para evitar pérdidas de agua. Mangueras de más de 20 m de longitud son por lo general difíciles de transportar cuando están llenas de agua.

- **Método del nivel de carpintero y reglas**

En principio este método es idéntico al de la manguera de nivelación. La diferencia es que la horizontalidad es establecida no por niveles de agua, si no por un nivel de carpintero (o de burbuja), colocado en una tabla de madera recta y fija. La figura 5.13 muestra el principio de su funcionamiento. En pendientes suaves este método es muy lento, pero en pendientes fuertes es apropiado especialmente si se trata de pequeñas caídas.

a. Equipo necesario

- Nivel de carpintero
- Tres reglas de madera
- Huincha de 5 m
- Libreta de notas y lápiz
- Tres personas (mínimo)

b. Procedimiento

- Se usa el mismo procedimiento que para manguera de nivelación (ver Fig.5.9)

Nota: es importante calibrar el nivel de carpintero a fin de obtener resultados óptimos.

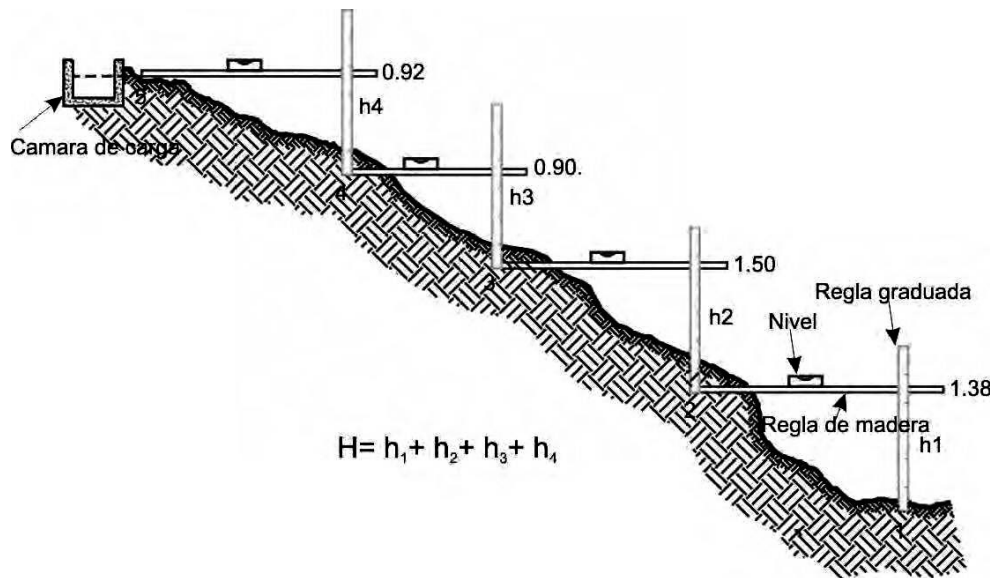


Fig. 5.13 – Determinación de altura con nivel de carpintero

Fuente: Ibídem Pág.39

- **Método del altímetro**

El altímetro es un instrumento de medición fácil de usar, pero relativamente costoso. La precisión de los resultados que se obtienen depende principalmente de la destreza de quien use la herramienta. Si se cuenta con mucha experiencia y las mediciones se realizan con cuidado, los resultados serán buenos y válidos para efectuar cálculos de ingeniería. Sin embargo, si este no fuera el caso, el método solo arrojará datos referenciales para un estudio preliminar, no para un estudio de factibilidad, y mucho menos para cálculos de diseño de ingeniería.

El altímetro mide la presión atmosférica, directamente relacionada con la altura sobre el nivel del mar, aunque varía ligeramente debido al clima, temperatura y humedad relativa. Como estas variaciones pueden ser muy significativas para la evaluación del salto, a fin de obtener resultados aceptables es necesario tomar varias lecturas durante el día y luego estimar un valor final.

En el caso de una microcentral, lo más conveniente es utilizar un solo altímetro, tomar varias medidas durante el día, tanto en el lugar de la cámara de carga como en el de la casa de fuerza, confeccionar una tabla donde se registre la hora y las lecturas del altímetro (ver Tabla 5.5), luego graficar estos resultados como se muestran en la Fig.5.14, trazar líneas promedio y determinar la diferencia de alturas (salto).

El tiempo que transcurra entre la medida de la altura en la casa de fuerza y la lectura en la cámara de carga, para una hora determinada, debe ser lo más corto posible.

Tabla 5.5 – Lecturas en cámara de carga y casa de máquinas

Hora	8	10	12	14	16	18
Cámara de carga	3 220	3 235	3 200	3 240	3 210	3 225
Casa de máquinas	3 170	3 180	3 150	3 180	3 150	3 160

Fuente: Ibídem Pág.40

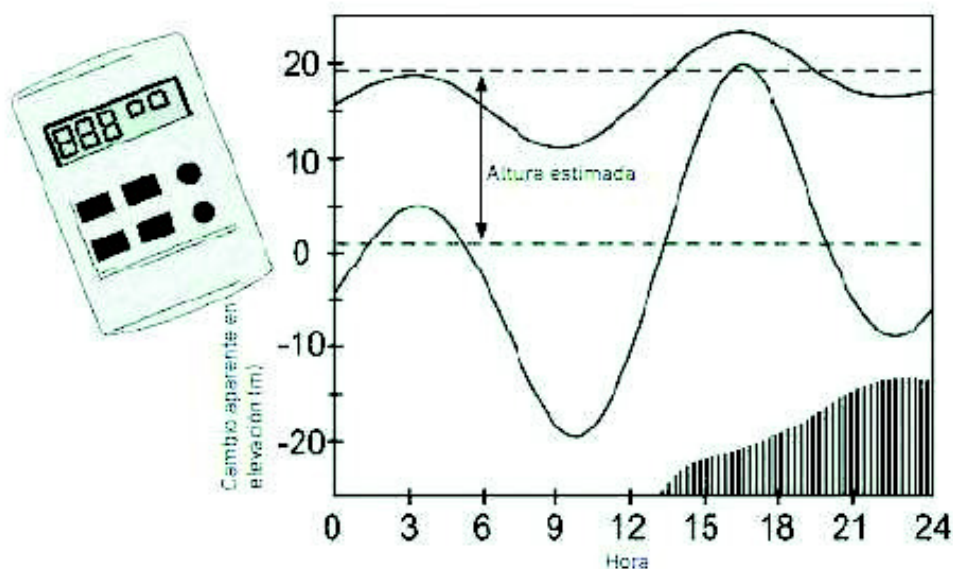


Fig. 5.14 – Uso del altímetro para medir la altura

Fuente: Ibídem Pág.40

- **Método del eclímetro y huincha**

Para aplicar este método es necesaria la participación de dos personas: una persona A, que usará el eclímetro y la persona B, que apoyará en la medición. Es recomendable que la talla de ambos sea lo más parecida posible a fin de no incurrir en errores por diferencia de tamaños. No obstante, la busca de tallas similares no debe ser causa de postergación o cancelación de la evaluación del lugar; si el caso se presentara, nos podemos ayudar de una regla (de tamaño mayor a la persona A), donde previamente debe marcarse la visual, colocando el eclímetro en la posición de 0°. El grado de precisión del método depende de la habilidad del operador en el uso del eclímetro.



Fig. 5.15 - Nivel Abney (Eclímetro) con goniómetro

a. Equipo necesario

- Eclímetro
- Huincha de 30 m
- Estacas
- Machete
- Combo de 3 libras
- Libreta de notas y lápiz

b. Procedimiento

- Una vez definidas las personas A y B, o en su defecto la persona B, tomando la regla con la señal, A tomará el eclímetro para iniciar el proceso según la figura 5.16. Dirigiendo la línea de mira a los ojos de B (o la señal en caso de la regla). En esta posición deberá graduarse cuidadosamente el ángulo del eclímetro y ajustarlo suavemente para evitar su movimiento.
- Leer el ángulo vertical que forma la horizontal con la visual (α_1) y anotarlo en la libreta de notas.
- Medir la distancia en dirección de la visual entre A y B y registrar en la libreta de notas (L_1).
- La persona A se desplazará al lugar en donde estuvo B en la primera medición, mientras que B se desplazará a una nueva posición para tomar los datos α_2 y L_2 , y registrarlos en la libreta de notas.
- Repetir el procedimiento cuantas veces sea necesario.
- Calcular las alturas parciales, aplicando la siguiente fórmula:

$$H_i = L_i \cdot \sin(\alpha_i)$$

- Calcular la altura total o salto sumando las alturas parciales obtenidas previamente:

$$H = H_1 + H_2 + \dots + H_n$$

Nota 1: también se puede aplicar este método colocando el eclímetro sobre unas estacas, dirigiendo la línea de mira a la parte final de la estaca siguiente y registrando los datos que se obtengan.

Nota 2: es recomendable que la ubicación de las personas A y B se efectúen en los cambios de dirección del perfil del terreno, esto nos permitirá también obtener los ángulos correspondientes para el diseño de anclajes. Por otro lado, las distancias de medición no deben exceder 30 m, a fin de tener una buena confiabilidad al efectuar la visualización del ángulo medido.

Tabla 5.6 – Planilla de registro de datos (I)

Estacas	L (m)	α	$H_i = L \cdot \text{sen} \alpha$
1-2			
2-3			
3-4			
Total			

Fuente: Ibídem Pág.42

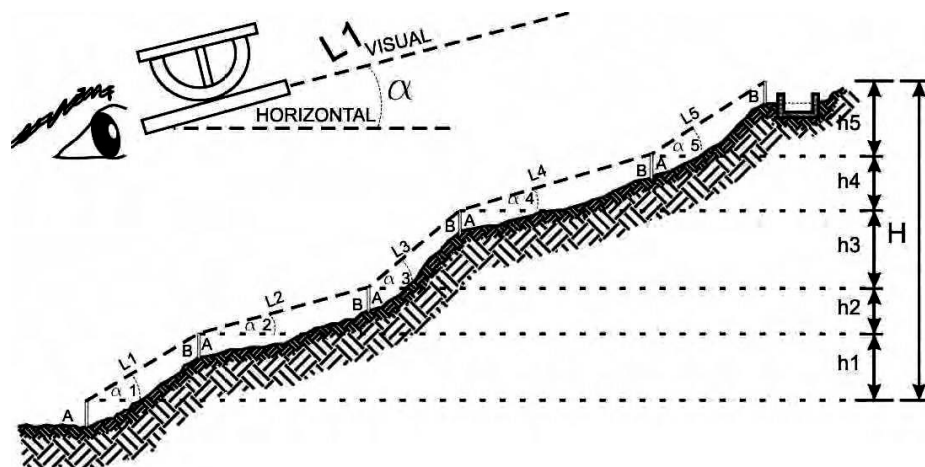


Fig. 5.16 – Determinación de la altura usando eclímetro y huincha

Fuente: Ibídem Pág.42

- **Método del nivel de ingeniero**

El nivel de ingeniero tiene una precisión de ± 1 mm; pero es caro y pesado y requiere operadores diestros. Por lo general los errores se producen en las largas series de cálculos que hay que efectuar.

Debido a que es un método común, los equipos que emplean se alquilan fácilmente y a precios aceptables. Con él las distancias pueden ser medidas simultáneamente, pero no es apropiado para lugares escarpados o con muchos árboles.

a. Equipo necesario

- Nivel topográfico
- Trípode
- Mira
- Machete
- Libreta de notas y lápiz
- Dos personas (mínimo)

b. Procedimiento

- Definir las personas que efectuarán el trabajo, el operador del nivel y el portamira.
- El operador colocará el nivel en un lugar, de tal forma que pueda visualizar al portamira en el primer punto (cámara de carga o casa de máquinas, según sea el caso), así como a un segundo punto, siguiendo la dirección del terreno.
- Si consideramos iniciar la medición desde la cámara de carga, el portamira se colocará en este punto, el operador visualizará la mira y tomará nota de la lectura (Vat), en seguida el portamira se desplazará a un segundo punto y el operador, girando el anteojo del nivel visualizará la mira y registrará otra lectura (Vad).
- El operador hace un cambio de ubicación (estación), de tal forma que pueda visualizar nuevamente al portamira en el punto anterior, para lo que el portamira no se ha movido, lo que hace es girar la mira para que el operador registre una nueva lectura, ahora será Vat, luego el portamira se traslada a otro punto donde el operador registra la lectura en la mira, que es Vad. Ver Tabla 5.7.
- El procedimiento se repita hasta llegar al punto donde será ubicada la casa de máquinas.

Nota: el proceso se agiliza si podemos contar con 2 portamiras e igual número de miras.

Tabla 5.7 – Planilla de registro de datos (II)

Estación	Vad	Vat	$H_i = \text{Vad} - \text{Vat}$	Observaciones
1				
2				
3				
4				
H_{total}				

Fuente: Ibídem Pág.43

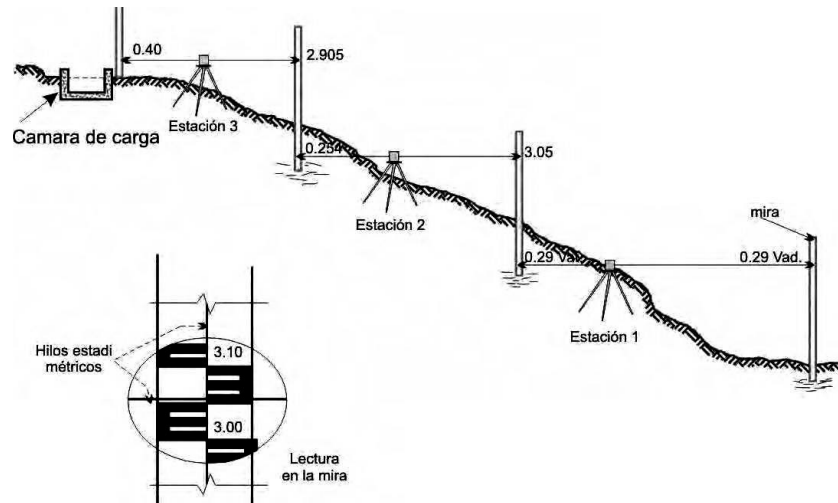


Fig. 5.17 – Cálculo de la altura usando el método del nivel de ingeniero

Fuente: Ibídem Pág.44

5.2.6 Estimación de la altura neta

Determinada el valor de la altura bruta, es necesario estimar las pérdidas por fricción en la tubería de presión y las originadas por singularidades (rejillas, codos, válvulas, etc.) En algunos tipos de turbina hay que tener en cuenta además que la descarga tiene lugar a una altura superior a la de la lámina de agua en el canal de restitución.

El salto neto es el resultado de restar al salto bruto todas esas pérdidas, por ello se transcribe un ejemplo de cálculo.

La potencia es el producto caudal* altura y la altura a emplear es la altura neta, considerando esta importancia para determinar la potencia es que se desarrolla el siguiente ejemplo de aplicación.

Ejemplo de cálculo

Se requiere calcular las pérdidas de carga en un aprovechamiento de las características de la figura 5.18. El caudal de diseño se ha fijado en 3 [m³/s] y el salto bruto es de 85 [m]. La tubería forzada tiene un diámetro de 1,50 [m] en el primer tramo y de 1,20 [m] en el segundo. Los codos tienen un radio igual a 4 veces el diámetro. A la entrada de la cámara de carga hay una reja con una inclinación de 60° con respecto a la horizontal. Sus barras son pletinas de acero inoxidable, con bordes rectos, de 12 mm. de espesor, y la distancia entre pletinas es de 70 mm.

De acuerdo con la experiencia, la velocidad a la entrada de la reja debe estar entre 0,25 [m/s] y 1,0 [m/s]. La superficie de reja se calcula por la ecuación siguiente:

$$S = 1/K_1 (t/(t+b)) * (Q/v_0) * 1 / \sen \alpha$$

en la que S es la superficie total en m², t el espesor de las barras (mm.), b su separación (mm.), Q el caudal (m³/s) y v₀ (m/s) la velocidad de corriente a la entrada de la reja. K₁ es un

coeficiente, que si se dispone de limpia rejás automático vale 0,80. Tomando $v_0 = 1$ [m/s], $S = 5,07$ m². Adoptamos por razones prácticas una reja de 6 m², a la que corresponde, con arreglo a la ecuación anterior una velocidad $v_0 = 0,85$ [m/s]. La pérdida de carga en la reja se calcula por la ecuación de Kirschner:

$$h_r = 2,4 * (12/70)^{3/4} * 0,8^2 / (2 * 9,81) = 0,007 \text{ [m]}$$

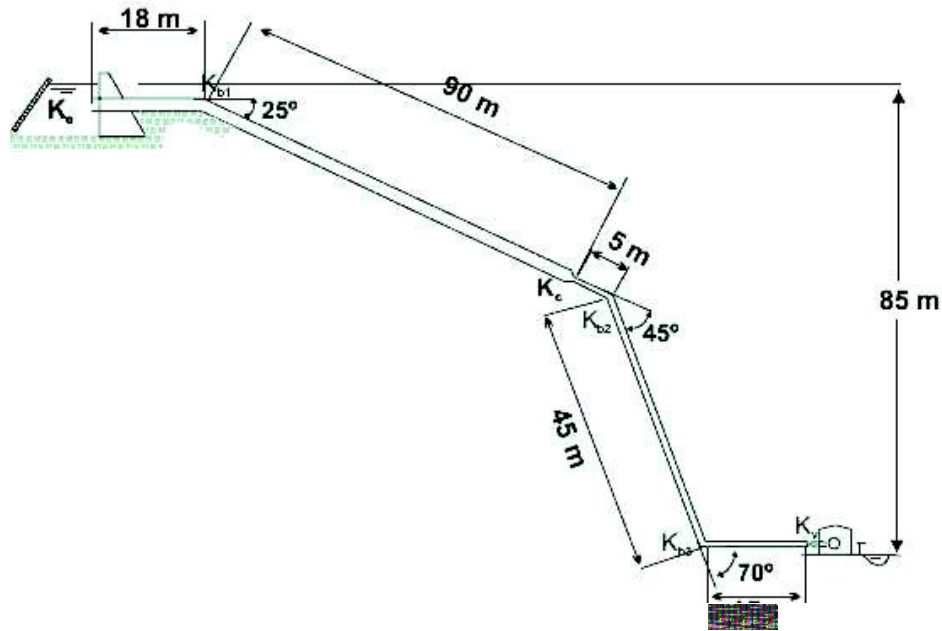


Fig. 5.18 - Esquema de instalación para determinar pérdidas de carga

Fuente: ESHA "Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica" (2006) pp. 67 y 68

Las pérdidas en el primer tramo de tubería, son función de la velocidad de la corriente $v = 1,7$ m/s.

El coeficiente K_e correspondiente a la pérdida de carga por entrada abocardada a la tubería forzada es 0,04 (ver figura 2.7). La pérdida de carga será: 0,006 m,...

La pérdida de carga por fricción en el primer tramo (18+90 m) se obtiene aplicando la ecuación de Manning:

$$S = 10,29 * n^2 * Q^2 / D^{5,33}$$

$$hf/108 = 10,29 * 0,012^2 * 3^2 / 1,5^{5,33} = 0,00153$$

$$hf = 0,166 \text{ m}$$

Para la pérdida de carga en el primer codo $K_b = 0,085$ (la mitad del de 90°), el segundo $K_b = 0,12$ y el tercero $K_b = 0,14$, que multiplicados por $V^2/2g$, dan pérdidas respectivas de 0,012 m., 0,043 m, y 0,050 m.

La contracción que se supone diseñada con una sección de transición de 30°, y da lugar a un coeficiente de pérdida $h_c = 0,02 \cdot V^2 / 2g$ (para una relación de diámetros de 0,8 y una siendo V la velocidad de corriente en el tubo de menor diámetro)

$$h_c = 0,02 \cdot 2,65^2 / (2 \cdot 9,81) = 0,007 \text{ m}$$

La pérdida de carga por fricción en el segundo tramo se calcula como la del primero y la relación $h_f/65$ vale 0,00504; $h_f = 0,328$ [mca]

El coeficiente de pérdida en la válvula de compuerta es $K_v = 0,15$; $h_v = 0,054$ [mca]

Las pérdidas por fricción serán pues $0,00153 \cdot 108 + 0,0054 \cdot 65 = 0,49$ [mca]

Las pérdidas por turbulencia suman: $0,007 + 0,006 + 0,012 + 0,043 + 0,050 + 0,007 + 0,054 = 0,18$ [mca]

La pérdida de carga total 0,673 m, lo que da un salto neto de 84,327 [mca] y una pérdida de carga del 8% que es razonable.

5.2.7 Medición del caudal

En razón de que el caudal de los ríos varía a lo largo del año, realizar una medida del caudal instantáneo resulta un registro aislado cuya utilidad es relativamente pequeña. Es probable que muchas veces no exista la información necesaria para hacer un estudio de hidrología, entonces nos veremos forzados a recolectar nuestros propios datos a partir de mediciones instantáneas del caudal; sin embargo, de ser posible y si el proyecto lo amerita, habrá que buscar especialistas en el tema, de tal forma que se pueda obtener una estimación del caudal lo más certera posible. La similitud de cuencas hidrográficas es muy utilizada para estimar un caudal donde no existe información hidrográfica.

Para nuestro caso, nos abocaremos a efectuar la descripción de métodos prácticos para medir el caudal instantáneo en un determinado río o riachuelo. Lo ideal es hacer mediciones a diario, aunque también se usan mediciones semanales y mensuales.

Es importante que estas mediciones se realicen en temporada de sequía (ausencia de lluvias), ya que es el tiempo más crítico e ideal para el diseño de un proyecto.

Es necesario estudiar las características de estos métodos a fin de utilizarlos adecuadamente, aprovechando las ventajas que ofrecen en cada caso particular.

El texto es transcrito desde el libro de Dávila, C.; et al. *"Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas"* Soluciones Prácticas, Lima, Perú, 2010. pp. 33 - 42 en forma casi literal.

- **Método de dilución salina**

Este método es fácil de usar y bastante preciso. Las mediciones bien efectuadas darán errores menores a 5 % y permiten hacer estimaciones de potencia y cálculos posteriores.

Este método se basa en el cambio de la conductividad del agua ($\text{ohm}^{-1} = 1 \text{ siemens}$), al cambiar el grado de concentración de sal. De este modo, si disolvemos una masa (M) de sal en un balde y vertemos la mezcla en una corriente de agua, dándole el tiempo necesario para diluirse, provocaremos un incremento de la conductividad que puede ser medido, como se explica más adelante, mediante un equipo llamado **conductivímetro**.

Como podemos imaginar, dicho incremento de la conductividad dura un cierto tiempo y no es uniforme durante ese lapso. Es decir, habrá pequeños incrementos al inicio y al final del paso de la nube (o concentración) de sal, mientras que habrá un máximo en una situación intermedia.

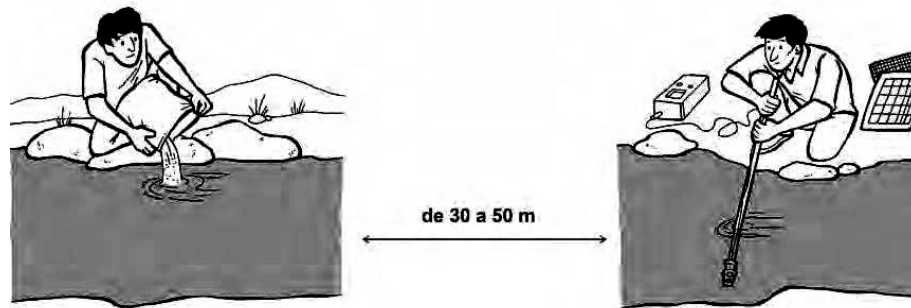


Fig. 5.19 - Esquema de instalación para determinar pérdidas de carga

Fuente: ITDG "Manual de micro y minicentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos" por Sánchez, Teodoro y Javier Ramírez, Perú (1995) Pág.45

Si hacemos mediciones de conductividad en siemens (S) o microsiemens (μS) en intervalos de tiempo cortos (como 5 segundos), desde que se inicia el paso de la nube de sal hasta el paso total de la misma y luego se grafica conductividad (μS) versus tiempo (t), se encontrará una curva de distribución más o menos uniforme.

Matemáticamente es demostrable que el caudal del río o quebrada en cuestión se puede calcular con la siguiente expresión, que relaciona el caudal con la masa de sal y el área bajo la curva obtenida y corregida por un factor k:

$$Q = k \cdot (M/A)$$

Donde,

- Q: caudal, en [l/s]
- k: factor de conversión [$\mu\text{S}/(\text{mg/litro})$]
- M: Masa de sal [mg]
- A: Área bajo la curva de conductividad en función del tiempo (Fig.5.20a)

Tal como se aprecia en la Fig. 5.20b, el factor k varía con la temperatura, por consiguiente, es importante conocer la temperatura del agua en el momento de la medición, a fin de calcular el factor adecuado.

- a. Equipo necesario
 - Conductivímetro
 - Cronómetro

- Balanza con precisión en gramos
- Sal de mesa
- Balde de 10 litros
- Termómetro
- Calculadora científica
- Papel milimetrado
- Bolsas de plástico
- Pala, picota, machete

b. Procedimiento

- Estimar el caudal de la fuente a medir.
- Pesar una cantidad de sal de mesa (seca) en gramos, haciendo uso de las bolsas, teniendo como referencia la relación de 1 gramo de sal por cada 1 litro/s de agua.
- Medir la temperatura del agua y registrarla en el conductivímetro.
- Seleccionar un tramo del río o quebrada (no menos de 30 m) observando que la velocidad superficial sea uniforme, libre de obstáculos (piedras, ramas, remansos, remolinos, etc.); estas consideraciones son importantes, ya que ello influirá en los resultados de la medición.
- Disolver la bolsita de sal pesada en un balde de 10 litros de capacidad, llenarlo con agua hasta llegar a $\frac{3}{4}$ de su volumen para evitar el derrame de la solución al momento de la disolución. Determinar en el tramo seleccionado el lugar de aplicación de la solución de la sal, así como el extremo donde se colocará el sensor del conductivímetro para tomar las medidas. Introducir el sensor del conductivímetro dentro del agua para medir la conductividad base del agua. Tener listo el cronómetro y preparar el registro para tomar los datos.
- Ordenar a la persona que está ayudando a verter la solución de sal en el punto indicado, registrar los valores de la conductividad cada 5 segundos.
- Procesar los datos en una hoja milimetrada y graficar la conductividad versus tiempo.
- Calcular el área encerrada por la curva y trazar una línea recta que una la conductividad base (primer punto leído) con el último punto (ver figura 5.20a).
- Determinar el factor de corrección por temperatura k en $\mu\text{S}/\text{mg}/\text{litro}$, haciendo uso de la figura 5.20b.
- Calcular el caudal, utilizando la fórmula: $Q = k \cdot (M/A)$.

c. Recomendaciones

- Si el medidor de conductividad se satura, cambiar la escala.
- Si el paso de la nube de sal es muy rápido, usar una distancia mayor.
- La solución debe agitarse lo suficiente como para obtener una buena dilución antes de verter al río.
- El gráfico resultante debe tener una forma más o menos regular (ver Fig.5.21e)
- Tener cuidado con las unidades en el momento de hacer los cálculos.

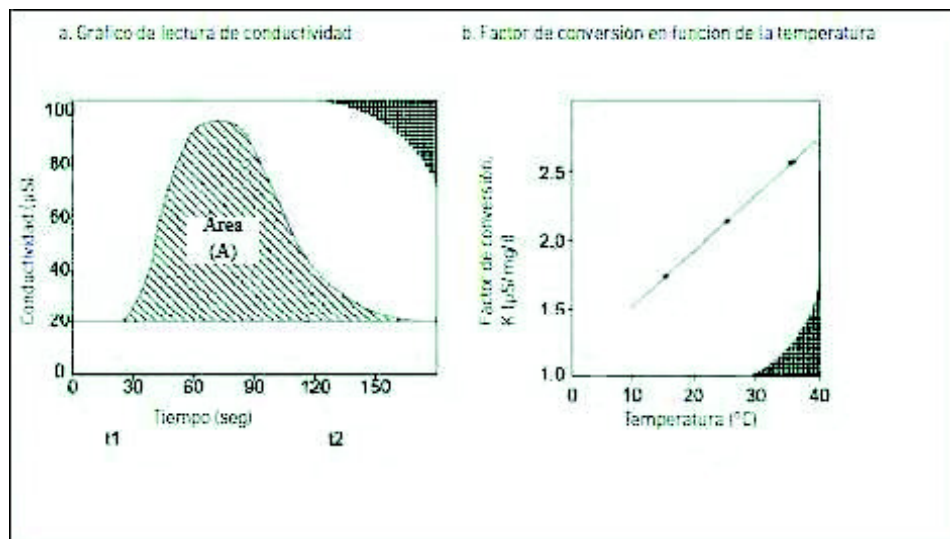


Fig. 5.20 - Área bajo la curva (A) y factor de conversión (k)
Fuente: Ibídem Pág.48

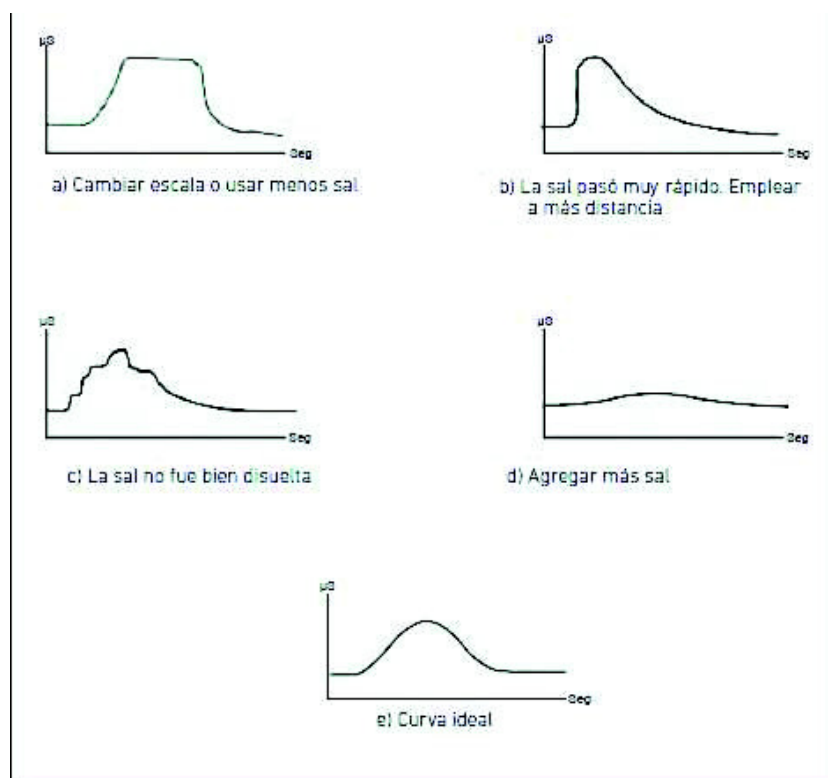


Fig. 5.21 – Tipos de gráficos obtenidos
Fuente: Ibídem Pág.48

- **Método del recipiente**

El método del recipiente es una manera muy simple de medir el caudal de un determinado arroyo. Todo el caudal a medir es desviado hacia un balde, barril o cualquier recipiente con volumen conocido, luego se anota el tiempo que toma llenarlo. El volumen del recipiente se conoce y el resultado del caudal se obtiene simplemente dividiendo este volumen por el tiempo de llenado. La desventaja de este método es que todo el caudal debe ser canalizado o entubado al recipiente. A menudo es necesario construir una pequeña presa temporal. Este método resulta práctico y muy útil sólo para caudales pequeños.

a. Equipo necesario

- Recipiente de capacidad conocida en litros, puede ser un balde, cilindro, etc.
- Cronómetro de precisión en segundos.
- Pala y picota.
- Manta de plástico, plancha de calamina o tubo de PVC.
- Libreta de notas y lápiz.

b. Procedimiento

- Haciendo uso de parte del equipo (pala y picota), desviar lateralmente el riachuelo, tratar de formar un canal provisional con la manta de plástico, plancha o tubo de PVC; aprovechar un desnivel para provocar una caída libre del chorro de agua
- Utilizando el cronómetro y con la ayuda de una segunda persona, medir el tiempo que demora en llenarse el recipiente seleccionado. Repetir el proceso un mínimo de tres veces

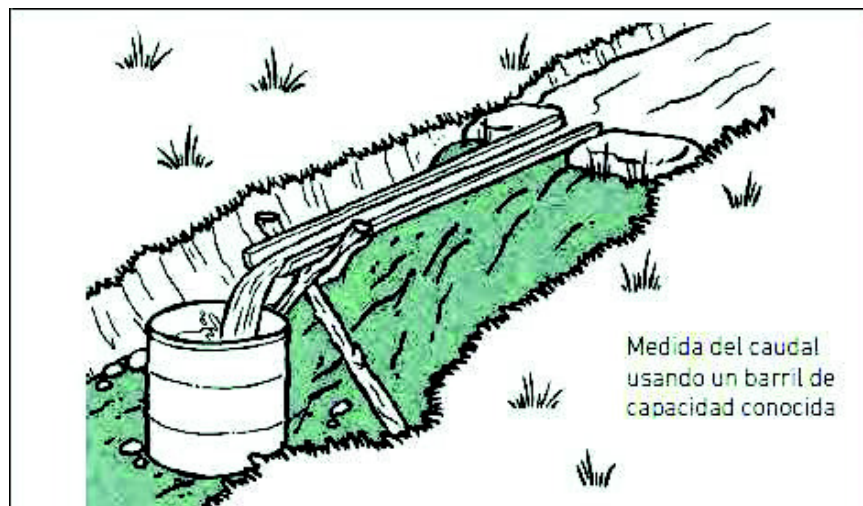


Fig. 5.22 – Medición del caudal usando el método del recipiente

Fuente: Ibídem Pág.50

En caso que no se conozca el volumen del recipiente, se puede calcular con fórmulas de acuerdo a su geometría:

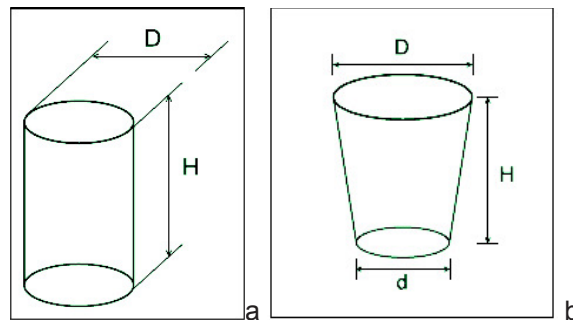


Fig. 5.23 – Formas comunes de recipientes: Cilíndrico (a) y Tronco-cónico (b)

Fuente: Ibídem Págs.51-52

Volumen de los recipientes:

$$\text{Cilíndrico(a): } V = \pi \cdot D^2 \cdot H / 4$$

$$\text{Tronco-cónico (b): } V = \pi \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d) \cdot H / 12$$

- **Método del área y velocidad (flotador)**

Este método se basa en el principio de continuidad. Para un fluido de densidad constante fluyendo a través del área de una sección conocida, el producto del área de la sección por la velocidad media será constante:

$$\text{Área} \times V_{\text{media}} = Q = \text{constante}$$

Donde:

Área: Sección transversal del flujo de agua, en [m²]

V_{media}: Velocidad promedio del agua en la corriente, en [m/s]

Q: Caudal, en [m³/s]

Se dibuja el perfil de la sección del lecho del río y se establece una sección promedio para una longitud conocida de corriente (ver Fig.5.24). Se utilizan una serie de flotadores (pedazos de madera, corchos, etc.) para medir el tiempo que se demoran en recorrer una longitud preestablecida en el río. Los resultados son promediados y se obtiene la velocidad superficial del flujo de agua. Esta velocidad deberá ser reducida por un factor de corrección para hallar la velocidad media de la sección. Este factor depende de la profundidad de la corriente. Multiplicando el área de la sección promedio por la velocidad del caudal promediada y corregida se obtiene el volumen de agua estimado que fluye. Las imprecisiones de este método son obvias. La fórmula para el cálculo es:

$$Q = k \cdot A \cdot V$$

Donde:

Q: Caudal, en [m³/s]

k: Factor de corrección de la velocidad del agua según la relación S/p (Tabla 5.8)

A: Área promedio de la sección transversal del flujo de agua, en [m²]

V: Velocidad superficial del agua, en [m/s]

El factor k también se puede obtener de la Tabla 5.9, en función a la profundidad y el tipo de material del riachuelo.

A menos que se considere un canal de pendiente suave y regular, obtener un valor preciso del área de la sección de la corriente de agua será muy complicado y tedioso, a menos que se utilicen aplicaciones matemáticas avanzadas.

La velocidad promedio obtenida no es la velocidad media de la corriente, ya que el flotador está en la superficie del agua y el factor de corrección es una aproximación; sin embargo, en circunstancias donde no es posible utilizar otro método o no se cuenta con el equipo suficiente, el método para estimar el caudal es válido.

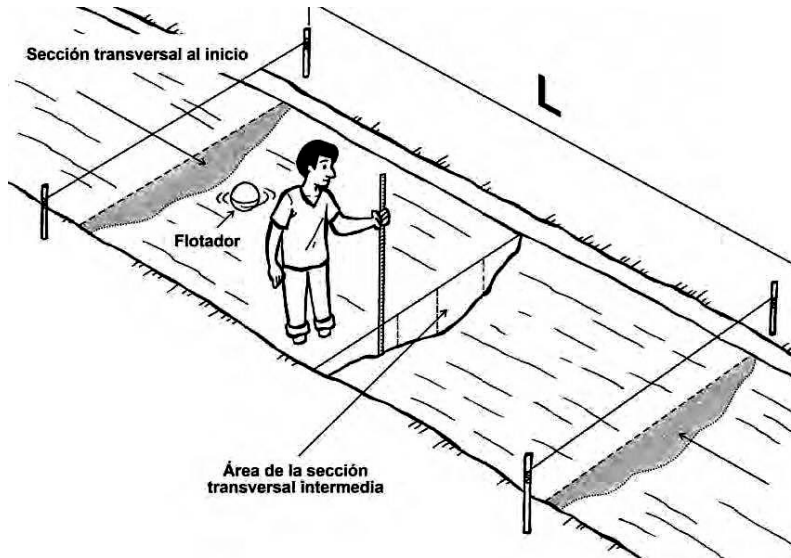


Fig. 5.24 – Sección transversal de la corriente de agua
Fuente: Ibídem Pág.53

En general, se debe escoger la mayor longitud posible del arroyo que tenga orillas paralelas con un área de la sección transversal uniforme a lo largo de esta longitud. Una sección de fondo rocoso con obstáculos al flujo, como piedras grandes, arrojará resultados erróneos. Es muy importante solicitar la ayuda de los pobladores de la zona para limpiar el área donde se realizarán las mediciones. Esto mejorará la validez de los resultados.

Tabla 5.8 – Valores de k según la relación S/p y el material del cauce

S/p	Madera lisa o cemento	Madera áspera o ladrillo	Pared de pedruscos	Tierra
0.1	0.860	0.840	0.748	0.565
0.2	0.865	0.858	0.792	0.645
0.3	0.870	0.865	0.812	0.685
0.4	0.875	0.868	0.822	0.712
0.5	0.880	0.870	0.830	0.730
0.6	0.885	0.871	0.835	0.745
0.7	0.890	0.872	0.837	0.755
0.8	0.892	0.873	0.839	0.763
0.9	0.895	0.874	0.842	0.771
1.0	0.895	0.875	0.844	0.778
1.2	0.895	0.876	0.847	0.786
1.4	0.895	0.877	0.850	0.794

Fuente: Ibídem Pág.54

Donde

- S: Sección transversal del cauce, en [m²]
 p: Perímetro mojado, en [m]

Tabla 5.9 – Valores de k según la profundidad y el material del cauce

Tipo de canal o río	Profundidad del agua en el centro del lecho	Factor k
Canal revestido con concreto	Mayor de 0.15 m	0.80
Canal de tierra	Mayor de 0.15 m	0.70
Río o riachuelo	Mayor de 0.15 m	0.50
Riachuelos o canales de tierra	Menor de 0.15 m	0.50 a 0.25

Fuente: Ibídem Pág.54

a. Equipo necesario

- Pala y picota.
- Estacas
- Cordel de nylon
- Huinchas de 30 m y de 5 m
- Cronómetro
- Regla graduada en centímetros
- Flotadores (maderas, botellas plásticas, corchos).
- Machete
- Libreta de notas y lápiz

b. Procedimiento

- Seleccionar en el río o riachuelo un tramo recto y de sección uniforme
- Medir la longitud (**L**) en metros y colocar estacas
- Atar transversalmente el cordel a las estacas
- Determinar la velocidad superficial de flujo en el tramo seleccionado:
 - Calcular el tiempo que tarda el flotador en recorrer la longitud **L** con el cronómetro. Realizar este paso por lo menos 3 veces
 - Hallar el tiempo promedio **T_p**
 - Calcular la velocidad superficial: **V = L / T_p**
- Hallar el área de la sección transversal **A** en el centro del tramo seleccionado:
 - Medir el ancho del espejo de agua de la sección transversal
 - Dividir este ancho en partes iguales
 - Con la regla graduada, tomar lecturas de la profundidad en cada división marcada
 - Dibujar un croquis de la sección con los datos obtenidos
 - El área de la sección transversal estará dada por la suma de las áreas parciales. Para facilidad de cálculo, semejar a figuras conocidas como triángulos y trapecios, según sea el caso
 - Determinar el perfil **p** del croquis dibujado, el mismo que viene a ser el perímetro mojado
- Calcular el caudal **Q**, aplicando la fórmula **Q= k*A*V**, teniendo en cuenta los valores de **A**, **V** y el factor **k** de la Tabla 5.8.

La velocidad del agua también puede ser medida con un **Medidor de Corriente o Correntómetro**. También llamado **molinete**, consiste en un mango con una hélice o copas conectadas al final. La hélice rota libremente y la velocidad de rotación está relacionada con la velocidad del agua. Un contador mecánico registra el número de revoluciones del propulsor que se ubica a la profundidad deseada. Otros aparatos más sofisticados utilizan impulsos eléctricos. Con estos medidores es posible tomar muchas lecturas en una corriente y calcular la velocidad media.

Los medidores de corriente son suministrados con una fórmula que relaciona la velocidad de rotación del instrumento con la velocidad de la corriente. Generalmente estos aparatos se usan para medir velocidad de 1.2 a 5 metros por segundo, con un margen de error de 2 %.

Al igual que otros medidores de velocidad, el molinete debe ser sumergido bajo el agua. A menudo el fabricante coloca una marca en el mango del medidor para indicar la profundidad de los álabes.

- **Método de la sección y control de la regla graduada**

Es similar al método del vertedero. Se diferencia en que la característica física de la sección se utiliza para controlar la relación entre el tirante de agua y el caudal. El tirante de agua se refiere a la profundidad de esta en la sección. Se ubica una sección de control donde un cambio dado en el caudal se traduce en un cambio apreciable en el tirante de agua en la sección de control. Deberá evitarse una sección de control ancha porque los cambios en el caudal resultarán en cambios pequeños en el tirante.

Si algún objeto obstruye la sección de control o la erosión hace que la pendiente cambie, entonces las lecturas siguientes no serán válidas. El medidor, típicamente un listón de madera graduado, deberá estar situado donde sea posible observarlo y no esté expuesto a daños (ver Fig.5.25). Nótese que este método es válido para comparar un caudal con otro, pero un caudal de referencia debe ser conocido y relacionado con la tabla graduada de modo que se obtenga una estimación cuantitativa del caudal.

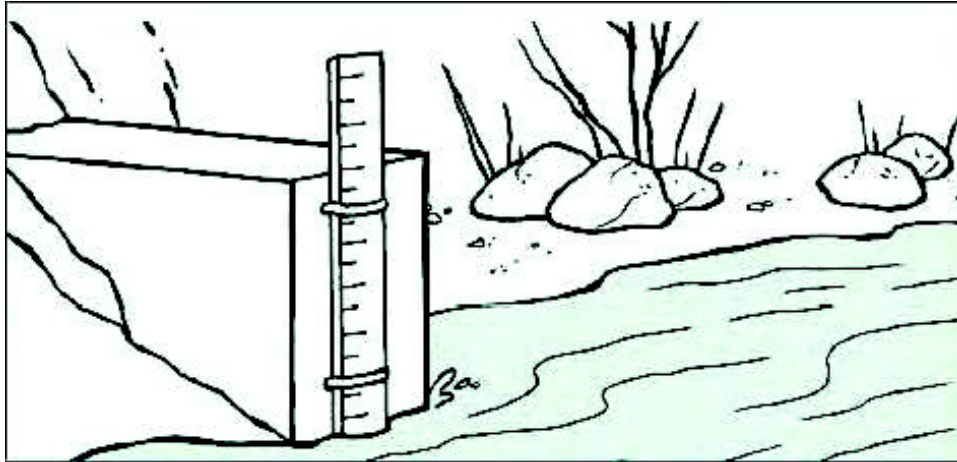


Fig. 5.25 – Sección transversal de la corriente de agua

Fuente: Ibídem Pág.57

- **Método del vertedero de pared delgada**

Un vertedero es una estructura similar a un muro de baja altura ubicado a lo ancho de un río o canal. Un vertedero de medición de caudal tiene una muesca a través de la cual toda el agua de la corriente fluye.

Los vertederos son generalmente estructuras temporales, diseñados de modo que la descarga volumétrica pueda ser leída directamente o determinada por una simple lectura de la diferencia de altura entre el nivel del agua antes del vertedero y en el vértice o cresta de este.

Para obtener buenos resultados es recomendable utilizar vertederos de pared delgada, se debe evitar que el sedimento se acumule tras de ellos. Estos vertederos se hacen con planchas de acero o de madera cepillada.

Según la forma de abertura adyacente al lado superior, los vertederos pueden ser triangulares, trapezoidales o rectangulares (ver Fig.5.26). Cada uno de ellos tiene su propia fórmula y condiciones específicas en cuanto a sus dimensiones:

- El vertedero triangular mide descargas pequeñas con mayor precisión que los otros tipos
- El vertedero trapezoidal, llamado también Cipoletti, puede compensar las contracciones en los bordes con caudales reducidos, lo que introduce errores en las medidas de vertederos rectangulares. La fórmula para controlar la descarga se simplifica al eliminar el factor de corrección en los vertederos rectangulares
- El vertedero rectangular permite medir descargas mayores y su ancho puede ser cambiado para diferentes caudales

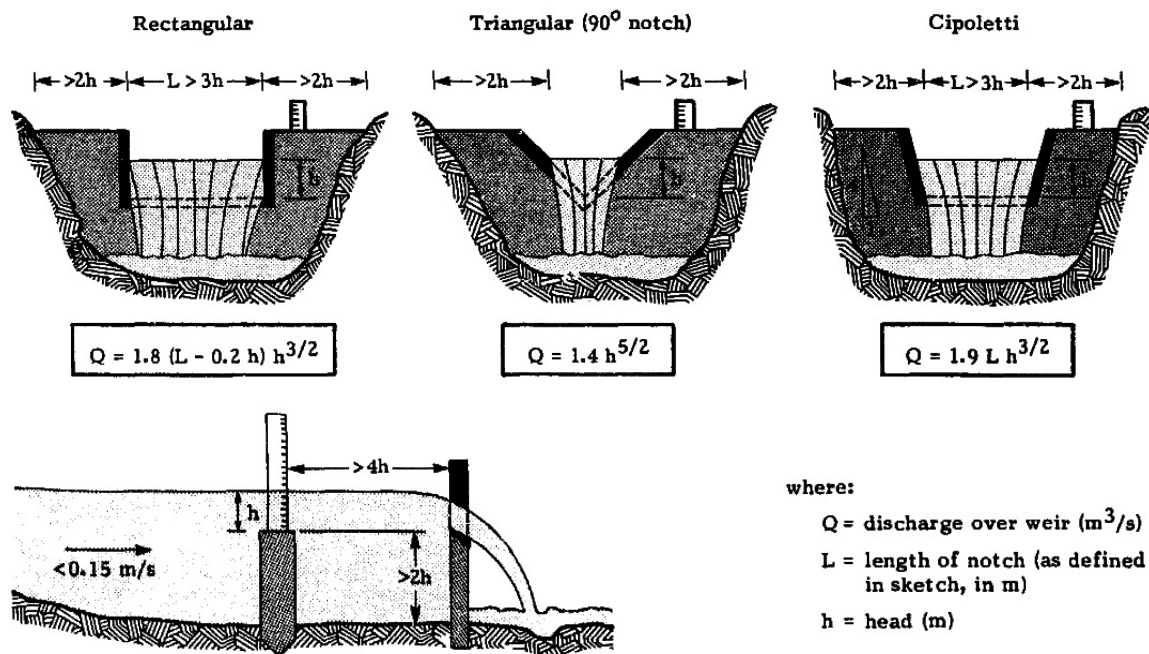


Fig. 5.26 - Tipos de vertederos y fórmulas para cálculo del caudal y recomendaciones para su construcción

Fuente: Inversin, Allen "Microhydropower Sourcebook" Editado por NRECA (1986) Pág.17

Consideraciones importantes para la fabricación e instalación de los vertederos

Los vertederos pueden ser de madera o metal y deben estar siempre orientados perpendicularmente al sentido de la corriente. Hay que ubicar el vertedero en un punto donde la corriente sea uniforme y esté libre de remolinos. La distancia entre el fondo del lecho del río y la cresta del vertedero, aguas arriba de este, deberá ser al menos dos veces la altura máxima a medirse (carga del vertedero). No debe haber ninguna obstrucción al paso de agua cerca al vertedero y sus lados deben estar perfectamente sellados a fin de evitar fugas o goteos. Para ello puede emplearse una lámina plástica. La cresta del vertedero deberá ser lo suficiente alta como para permitir que el agua caiga libremente dejando un espacio bajo el chorro.

Las crestas de vertederos trapezoidales y rectangulares deben estar a nivel. Los vertederos triangulares pueden usarse con un amplio rango de ángulos de vértice (el ángulo de 90° es el más usado). Las ecuaciones para la mayoría de los vertederos de pared delgada por lo general no son precisas para alturas muy pequeñas (menores a 5 cm).

En comparación con otros, el vertedero triangular puede medir un rango mayor de caudales. La cresta del vertedero debe ser lo suficientemente ancha para recibir la mayor descarga esperada. Por eso es necesario conocer los probables valores del caudal antes de seleccionar o diseñar un vertedero. Si se encuentran velocidades de corrientes superiores a 0.15 m/s, será necesario corregir la cresta por el efecto de la velocidad de aproximación.

Cuando se construya un vertedero temporal simple, los problemas de sellado pueden ser solucionados pegando una lámina plástica que se pone corriente arriba al vertedero y se sujeta con arena y rocas.

Las desventajas más comunes de los vertederos son:

- Si la cresta es muy ancha o profunda, la fórmula tiende a subestimar la descarga
- Si la velocidad de aproximación es muy alta, la descarga es también subestimada

A continuación, presentamos la Tabla 5.10 con datos de caudal obtenidos para un vertedero rectangular.

Tabla 5.10 – Valores de k según la profundidad y el material del cauce

h	L				Q
	0.5 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	
5 cm	10	20	30	40	l/s
10 cm	27	56	84	113	l/s
20 cm	74	155	235	316	l/s

Fuente: Ibídem Pág.59

5.3 Estimación de caudales máximos de crecidas con período de retorno

Para el diseño de obras civiles como estructuras de bocatoma, obras de restitución y Casa de Máquinas es necesario determinar los caudales de crecidas con períodos de retorno y en base a estos y el eje hidráulico - con y sin proyecto - dimensionar las obras y las protecciones que se requieran para una operación segura y sin colapso de las mismas.

5.3.1 Métodos establecidos en el Manual DGA

El caudal de crecidas con período de retorno se puede estimar por los métodos consignados en la publicación MOP, DGA "*Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica*" SEB N° 4, Santiago de Chile, Agosto de 1995, en adelante **Manual DGA**.

Los métodos del Manual indicado tienen validez para cuencas sin control fluviométrico, de régimen pluvial o nivo-pluvial, con áreas comprendidas entre 20 y 10.000 [km²], en las regiones en que indican, limitándose su uso a estimaciones menores o iguales a períodos de retorno de 100 años, valor que coincide con el exigido para construcción de bocatomas en cauces naturales; los métodos empleados para cuencas pluviales son Racional Modificado, Verni-King Modificado, DGA-AC e Hidrograma Unitario Sintético.

5.3.2 Métodos estadísticos de estimación de crecida máxima en base a caudales máximos

El método presentado ha sido desarrollado por Helmuth Lauterjung en la publicación GTZ - GATE, Lauterjung, Helmuth "*Planning of Intake Structures intake structures for irrigation or hydropower*" Eschborn, Alemania (1989) y es empleado para determinar los caudales de diseño con períodos de retorno que se emplean para dimensionar las obras de captación, y vertederos de excedencias en bocatoma en las pequeñas centrales hidroeléctricas o en obras de regadío.

Si existe un registro de algún sitio en un cauce y se desea determinar en otro punto del mismo - tratándose de lugares hidro-meteorológicamente similares - se puede estimar un caudal peak por ejemplo para T = 100 años trasponiendo el sitio para el cual se ha determinado el valor, empleando una ecuación del tipo:

$$Q_g = Q_u * (A_g / A_u)^n$$

Donde,

- Qg:** Caudal máximo instantáneo para el período de retorno 100 años del sitio medido o calculado, en [m³/s].
- Qu:** Caudal máximo instantáneo para el período de retorno 100 años del sitio a estimar, en [m³/s].
- Ag:** Área pluvial aportante de la cuenca calculada o medida, en [km²].
- Au:** Área pluvial aportante del sitio a estimar, en [km²].

El valor del exponente "n" para hacer transposición de cuencas y determinar caudales máximos está sujeta a varios criterios y en manuales de diseño de pequeñas centrales estos suelen recomendar emplear 0,75 como valor medio. Sin embargo, como primer considerando es que que hay estudios específicos para Chile por lo que se recomienda emplear valores de

ecuaciones con validez regional de origen experimental y por ello se puede emplear el exponente $n = 0,88$ de la Fórmula de Verni y King, que es válida de Copiapó al Sur. Ahora bien, como además hay diferencia en las precipitaciones máximas se hace una relación entre las áreas y las precipitaciones, por lo que la fórmula empleada queda de la forma siguiente:

$$Q_{Est.} = (A_{Est.}/A_{EB})^{0,88} * (P_{Est.}/P_{EB})^{1,24} * Q_{EB}$$

Donde:

- $Q_{Est.}$: Caudal de la cuenca en estudio, en $[km^3]$
- Q_{EB} : Caudal de la cuenca base, en $[m^3/s]$
- $A_{Est.}$: Área de la cuenca en estudio, en $[km^2]$
- A_{EB} : Área de la cuenca base, en $[km^2]$
- $P_{Est.}$: Precipitación media de la cuenca en estudio, en $[mm]$
- P_{EB} : Precipitación media de la cuenca base, en $[mm]$

Un segunda considerando es que si se emplean "*caudales máximos medios*" de una estación fluviométrica y se realizan cálculos con el procedimiento siguiente los valores obtenidos son de "*caudales medios máximos con periodo de retorno*" y para tener resultados más confiables y seguros se recomienda emplear los valores de coeficientes indicados en la publicación ya citada del Manual DGA que los convierten en valores de "*caudales máximos instantáneos*"; esta última consideración es válida también para software que desarrollan análisis de valores extremos (por ejemplo: HIDROESTA).

En el caso de obras de captación se requiere un periodo de 100 años, pero se recomienda chequear con la crecida de 200 años, como resguardo de seguridad.

a) Análisis de Frecuencias Hidrológicas (Pearson III)

En 1951 Chow demostró que muchos análisis de frecuencias pueden ser reducidos a la forma

$$X_T = \bar{X} * [1 + Cv * K(Csx, T)]$$

Donde X_T es la magnitud del evento que tiene un período de retorno T y K_T es un factor de frecuencia. Esta relación puede transformarse escribiendo cualquier valor de X como

$$X_T = \bar{X} + \Delta X$$

y estableciendo que ΔX , la desviación alrededor de la media, es un producto de la desviación estándar S y un factor de frecuencia K . Por otra parte,

$$Cv = S/\bar{X}$$

Por lo que la ecuación (2) toma la forma de la ecuación (1)

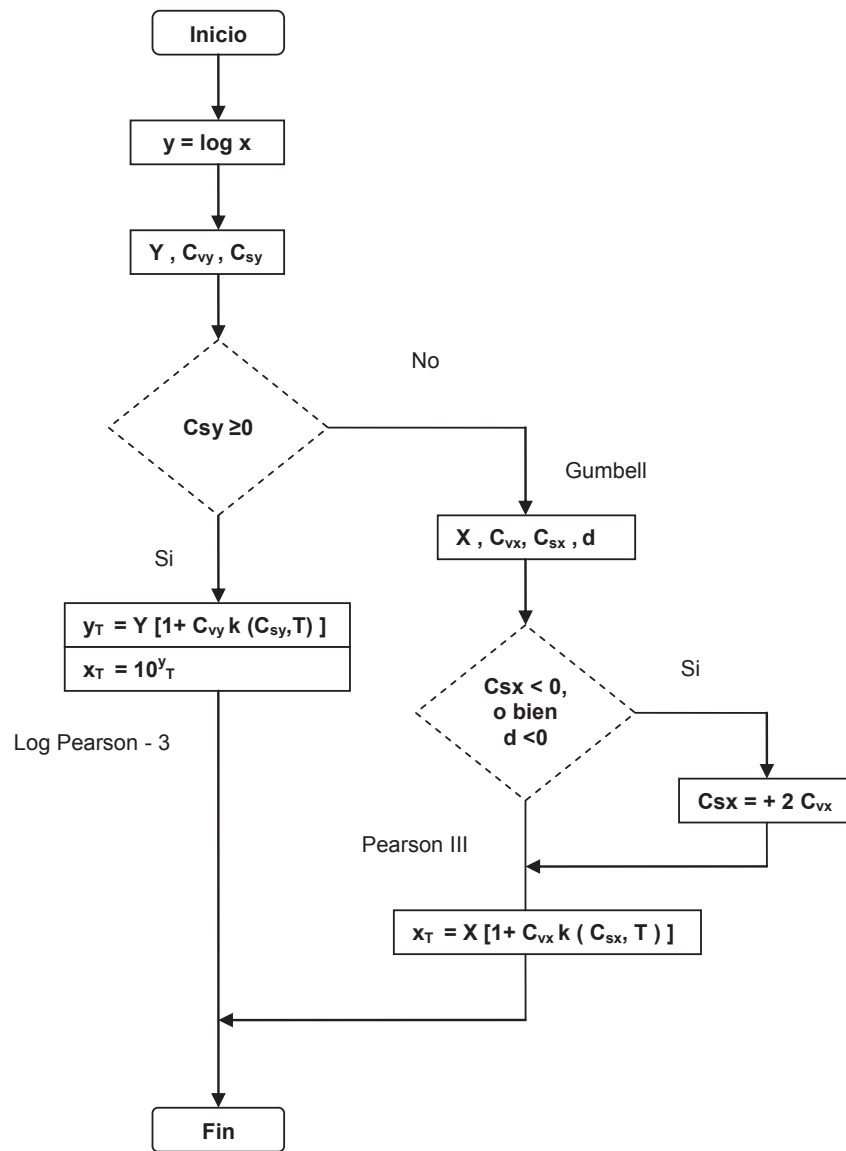


Fig 5.31 - Diagrama de la secuencia de cálculo para estimar valores extremos
 Fuente: GTZ - GATE, Lauterjung, Helmuth "Planning of Intake Structures intake structures for irrigation or hydropower" Eschborn, Alemania (1989).

Luego se determina $X_T = 10^{y_T}$ (logaritmos en base 10), o bien $X_T = e^{y_T}$ (logaritmos en base e) y termina la secuencia de cálculo.

ii) Si C_{sy} es menor a cero

- **Paso 4** – Si C_{sy} es menor que cero, se calcula X , C_{vx} , C_{sx} y d de los valores de X_i

- **Paso 5** - Si C_{sx} o d es menor que cero, se hace $C_{sx} = 2 * C_{vx}$ y se continúa con el Paso 7
- **Paso 6** – Si C_{sx} y d son mayores o iguales a cero, se continúa con el Paso 7.
- **Paso 7** – Se calcula el caudal de crecida para el periodo de retorno, T , de la forma siguiente,

$$X_T = \bar{X} * S_x * K_T(C_{sx}, T)$$

o bien

$$X_T = \bar{X} * [1 + C_{vx} * K_T(C_{sx}, T)]$$

Los valores de K_T de acuerdo a Pearson son los indicados en la Tabla 5.13

Para ilustrar el proceso de cálculo se presenta un ejemplo de cálculo realizado con valores de "Caudales Máximos Instantáneos" en las tablas siguientes se describe la aplicación.

Para calcular los valores de la Tabla 5.12 se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_T = X_m * [1 + C_{vx} * K_T(C_{sx}, T)] \quad K_T: \text{funcion } (C_{sx}, T_r) \text{ (tabla 5.13)}$$

Siendo:

$$X_m = Q_m = 335,3 \quad \text{y} \quad C_{vx} = 0,54$$

El valor de K se obtiene en función de $C_{sx} = 1,09$ para los diferentes periodos de retorno, T , en función de la Tabla 5.13

Tabla 5.12 - Caudales máximos con periodo de retorno, en [m³/s]

$Q_2 =$	302	[m³/s]
$Q_5 =$	471	[m³/s]
$Q_{10} =$	580	[m³/s]
$Q_{20} =$	681	[m³/s]
$Q_{25} =$	713	[m³/s]
$Q_{40} =$	777	[m³/s]
$Q_{50} =$	807	[m³/s]
$Q_{100} =$	899	[m³/s]
$Q_{200} =$	988	[m³/s]
$Q_{500} =$	1.103	[m³/s]

En este caso se considera para diseño de obras en el cauce un caudal de diseño para un periodo de retorno, T , de 100 años un valor de 899 [m³/s].

En las Tablas 5.11a, b y c se presenta un ejemplo con la secuencia de cálculo

Tabla 5.11a - Primera tabla de la secuencia de cálculo

					Área de la cuenca :			220,4	[Km ²]
Año	Mes	Caudal	m	Q (m3/s)					
		[m3/s]		[X]	N+1/m	y=Log X	(yi - Ym)	(yi - Ym) ²	(yi - Ym) ³
1963	ago	507,98	1	810,85	49,0	2,91	0,4975	0,2475	0,12311
1964	dic	435,93	2	794,63	24,5	2,90	0,4887	0,2388	0,11671
1965	jun	389,09	3	656,41	16,3	2,82	0,4057	0,1646	0,06678
1966	jul	242,39	4	608,28	12,3	2,78	0,3726	0,1389	0,05174
1967	ago	288,22	5	570,24	9,8	2,76	0,3446	0,1187	0,04091
1968	jul	115,29	6	507,98	8,2	2,71	0,2944	0,0867	0,02551
1969	jun	396,30	7	504,52	7,0	2,70	0,2914	0,0849	0,02474
1970	abril	58,36	8	495,44	6,1	2,69	0,2835	0,0804	0,02279
1971	sept	98,79	9	473,83	5,4	2,68	0,2641	0,0698	0,01843
1972	mayo	656,41	10	459,13	4,9	2,66	0,2505	0,0627	0,01571
1973	mayo	168,97	11	451,78	4,5	2,65	0,2434	0,0593	0,01443
1974	julio	281,01	12	435,93	4,1	2,64	0,2279	0,0520	0,01184
1975	mayo	327,20	13	435,93	3,8	2,64	0,2279	0,0520	0,01184
1976	junio	504,52	14	426,20	3,5	2,63	0,2181	0,0476	0,01038
1977	mayo	343,65	15	408,51	3,3	2,61	0,1997	0,0399	0,00797
1978	julio	426,20	16	400,98	3,1	2,60	0,1916	0,0367	0,00704
1979	oct	18,81	17	396,30	2,9	2,60	0,1865	0,0348	0,00649
1980	feb	169,90	18	392,33	2,7	2,59	0,1822	0,0332	0,00605
1981	mar	13,69	19	389,09	2,6	2,59	0,1786	0,0319	0,00569
1982	jun	308,75	20	385,01	2,5	2,59	0,1740	0,0303	0,00527
1983	jun	360,27	21	384,77	2,3	2,59	0,1737	0,0302	0,00524
1984	jul	299,02	22	361,71	2,2	2,56	0,1469	0,0216	0,00317
1985	jul	435,93	23	360,27	2,1	2,56	0,1452	0,0211	0,00306
1986	nov	361,71	24	343,65	2,0	2,54	0,1246	0,0155	0,00194
1987	jun	261,56	25	327,20	2,0	2,51	0,1033	0,0107	0,00110
1988	ago	202,72	26	313,52	1,9	2,50	0,0848	0,0072	0,00061
1989	jun	400,98	27	308,75	1,8	2,49	0,0781	0,0061	0,00048
1990	sept	241,77	28	299,02	1,8	2,48	0,0642	0,0041	0,00026
1991	jul	392,33	29	288,22	1,7	2,46	0,0482	0,0023	0,00011
1992	mayo	570,24	30	281,01	1,6	2,45	0,0372	0,0014	0,00005
1993	jul	473,83	31	276,32	1,6	2,44	0,0299	0,0009	0,00003
1994	jul	459,13	32	261,56	1,5	2,42	0,0061	0,0000	0,00000
1995	jul	495,44	33	242,39	1,5	2,38	-0,0270	0,0007	-0,00002
1996	jun	180,55	34	241,77	1,4	2,38	-0,0281	0,0008	-0,00002
1997	abril	384,77	35	233,46	1,4	2,37	-0,0433	0,0019	-0,00008
1998	ago	133,76	36	210,59	1,4	2,32	-0,0880	0,0078	-0,00068
1999	jun	233,46	37	202,72	1,3	2,31	-0,1046	0,0109	-0,00114
2000	jun	451,78	38	185,39	1,3	2,27	-0,1434	0,0206	-0,00295
2001	jul	810,85	39	180,55	1,3	2,26	-0,1549	0,0240	-0,00372
2002	ago	408,51	40	169,90	1,2	2,23	-0,1813	0,0329	-0,00596
2003	jun	608,28	41	168,97	1,2	2,23	-0,1837	0,0337	-0,00620
2004	jul	210,59	42	133,76	1,2	2,13	-0,2851	0,0813	-0,02318
2005	jun	385,01	43	115,29	1,1	2,06	-0,3497	0,1223	-0,04276
2006	jul	794,63	44	98,79	1,1	1,99	-0,4168	0,1737	-0,07240
2007	jul	185,39	45	58,36	1,1	1,77	-0,6453	0,4165	-0,26875
2008	ago	276,32	46	18,81	1,1	1,27	-1,1372	1,2932	-1,47057
2009	jul	313,52	47	13,69	1,0	1,14	-1,2751	1,6258	-2,07299
2010	feb	8,12	48	8,12	1,0	0,91	-1,5021	2,2563	-3,38911
Suma								7,934	-6,751
Media				335,248		2,41			
				Ym	2,4115				
				Sy	0,41086				
				Csy	-2,16115				

Tabla 5.11b - Segunda tabla de la secuencia de cálculo

Año	Mes	Caudal	m	Q (m3/s)	N+1/m	y=Log X	eta=yi/ym	eta-1		(yi-Ym) ²	(yi-Ym) ³	
		[m3/s]		[X]				(-)	(+)		(-)	(+)
1963	ago	507,98	1	810,85	49,00	2,9089	1,2063		0,2063	0,0426		0,00878
1964	dic	435,93	2	794,63	24,50	2,9002	1,2027		0,2027	0,0411		0,00832
1965	jun	389,09	3	656,41	16,33	2,8172	1,1682		0,1682	0,0283		0,00476
1966	jul	242,39	4	608,28	12,25	2,7841	1,1545		0,1545	0,0239		0,00369
1967	ago	288,22	5	570,24	9,80	2,7561	1,1429		0,1429	0,0204		0,00292
1968	jul	115,29	6	507,98	8,17	2,7058	1,1221		0,1221	0,0149		0,00182
1969	jun	396,30	7	504,52	7,00	2,7029	1,1208		0,1208	0,0146		0,00176
1970	abril	58,36	8	495,44	6,13	2,6950	1,1176		0,1176	0,0138		0,00163
1971	sept	98,79	9	473,83	5,44	2,6756	1,1095		0,1095	0,0120		0,00131
1972	mayo	656,41	10	459,13	4,90	2,6619	1,1039		0,1039	0,0108		0,00112
1973	mayo	168,97	11	451,78	4,45	2,6549	1,1010		0,1010	0,0102		0,00103
1974	julio	281,01	12	435,93	4,08	2,6394	1,0945		0,0945	0,0089		0,00084
1975	mayo	327,20	13	435,93	3,77	2,6394	1,0945		0,0945	0,0089		0,00084
1976	junio	504,52	14	426,20	3,50	2,6296	1,0905		0,0905	0,0082		0,00074
1977	mayo	343,65	15	408,51	3,27	2,6112	1,0828		0,0828	0,0069		0,00057
1978	julio	426,20	16	400,98	3,06	2,6031	1,0795		0,0795	0,0063		0,0005
1979	oct	18,81	17	396,30	2,88	2,5980	1,0774		0,0774	0,0060		0,00046
1980	feb	169,90	18	392,33	2,72	2,5937	1,0755		0,0755	0,0057		0,00043
1981	mar	13,69	19	389,09	2,58	2,5901	1,0741		0,0741	0,0055		0,00041
1982	jun	308,75	20	385,01	2,45	2,5855	1,0722		0,0722	0,0052		0,00038
1983	jun	360,27	21	384,77	2,33	2,5852	1,0720		0,0720	0,0052		0,00037
1984	jul	299,02	22	361,71	2,23	2,5584	1,0609		0,0609	0,0037		0,00023
1985	jul	435,93	23	360,27	2,13	2,5566	1,0602		0,0602	0,0036		0,00022
1986	nov	361,71	24	343,65	2,04	2,5361	1,0517		0,0517	0,0027		0,00014
1987	jun	261,56	25	327,20	1,96	2,5148	1,0429		0,0429	0,0018		7,9E-05
1988	ago	202,72	26	313,52	1,88	2,4963	1,0352		0,0352	0,0012		4,3E-05
1989	jun	400,98	27	308,75	1,81	2,4896	1,0324		0,0324	0,0010		3,4E-05
1990	sept	241,77	28	299,02	1,75	2,4757	1,0266		0,0266	0,0007		1,9E-05
1991	jul	392,33	29	288,22	1,69	2,4597	1,0200		0,0200	0,0004		8E-06
1992	mayo	570,24	30	281,01	1,63	2,4487	1,0154		0,0154	0,0002		3,7E-06
1993	jul	473,83	31	276,32	1,58	2,4414	1,0124		0,0124	0,0002		1,9E-06
1994	jul	459,13	32	261,56	1,53	2,4176	1,0025		0,0025	0,0000		1,6E-08
1995	jul	495,44	33	242,39	1,48	2,3845	0,9888	-0,0112		0,0001	-1,4E-06	
1996	jun	180,55	34	241,77	1,44	2,3834	0,9884	-0,0116		0,0001	-1,6E-06	
1997	abril	384,77	35	233,46	1,40	2,3682	0,9821	-0,0179		0,0003	-5,8E-06	
1998	ago	133,76	36	210,59	1,36	2,3234	0,9635	-0,0365		0,0013	-4,9E-05	
1999	jun	233,46	37	202,72	1,32	2,3069	0,9566	-0,0434		0,0019	-8,2E-05	
2000	jun	451,78	38	185,39	1,29	2,2681	0,9405	-0,0595		0,0035	-0,00021	
2001	jul	810,85	39	180,55	1,26	2,2566	0,9358	-0,0642		0,0041	-0,00026	
2002	ago	408,51	40	169,90	1,23	2,2302	0,9248	-0,0752		0,0057	-0,00042	
2003	jun	608,28	41	168,97	1,20	2,2278	0,9238	-0,0762		0,0058	-0,00044	
2004	jul	210,59	42	133,76	1,17	2,1263	0,8818	-0,1182		0,0140	-0,00165	
2005	jun	385,01	43	115,29	1,14	2,0618	0,8550	-0,1450		0,0210	-0,00305	
2006	jul	794,63	44	98,79	1,11	1,9947	0,8272	-0,1728		0,0299	-0,00516	
2007	jul	185,39	45	58,36	1,09	1,7661	0,7324	-0,2676		0,0716	-0,01916	
2008	ago	276,32	46	18,81	1,07	1,2743	0,5284	-0,4716		0,2224	-0,10487	
2009	jul	313,52	47	13,69	1,04	1,1364	0,4713	-0,5287		0,2796	-0,14782	
2010	feb	8,12	48	8,12	1,02	0,9094	0,3771	-0,6229		0,3880	-0,24168	
Suma								-2,723	2,723	1,364	-0,525	0,043
Media				425,8		2,41						
				Ym	2,41							
				Sy	0,17038							
				Csy	-2,16115							

Como Csy ≤ 0 , entonces se procede con la tabla siguiente:

Tabla 5.11c - Tercera tabla de la secuencia de cálculo

Año	Mes	Caudal	m	Q [m3/s]	N+1/m	$\xi = x/x_m$	(+) $\xi -1$	(-) $\xi -1$	(-) $(\xi -1)^2$	(-) $(\xi -1)^3$	(+) $(\xi -1)^3$
		[m3/s]		X							
1963	ago	507,98	1	810,85	49,000	2,4187	1,4187		2,013		2,855
1964	dic	435,93	2	794,63	24,500	2,3703	1,3703		1,878		2,573
1965	jun	389,09	3	656,41	16,333	1,9580	0,9580		0,918		0,879
1966	jul	242,39	4	608,28	12,250	1,8144	0,8144		0,663		0,540
1967	ago	288,22	5	570,24	9,800	1,7009	0,7009		0,491		0,344
1968	jul	115,29	6	507,98	8,167	1,5152	0,5152		0,265		0,137
1969	jun	396,30	7	504,52	7,000	1,5049	0,5049		0,255		0,129
1970	abril	58,36	8	495,44	6,125	1,4778	0,4778		0,228		0,109
1971	sept	98,79	9	473,83	5,444	1,4134	0,4134		0,171		0,071
1972	mayo	656,41	10	459,13	4,900	1,3695	0,3695		0,137		0,050
1973	mayo	168,97	11	451,78	4,455	1,3476	0,3476		0,121		0,042
1974	julio	281,01	12	435,93	4,083	1,3003	0,3003		0,090		0,027
1975	mayo	327,20	13	435,93	3,769	1,3003	0,3003		0,090		0,027
1976	junio	504,52	14	426,20	3,500	1,2713	0,2713		0,074		0,020
1977	mayo	343,65	15	408,51	3,267	1,2185	0,2185		0,048		0,010
1978	julio	426,20	16	400,98	3,063	1,1961	0,1961		0,038		0,008
1979	oct	18,81	17	396,30	2,882	1,1821	0,1821		0,033		0,006
1980	feb	169,90	18	392,33	2,722	1,1703	0,1703		0,029		0,005
1981	mar	13,69	19	389,09	2,579	1,1606	0,1606		0,026		0,004
1982	jun	308,75	20	385,01	2,450	1,1484	0,1484		0,022		0,003
1983	jun	360,27	21	384,77	2,333	1,1477	0,1477		0,022		0,003
1984	jul	299,02	22	361,71	2,227	1,0789	0,0789		0,006		0,000
1985	jul	435,93	23	360,27	2,130	1,0746	0,0746		0,006		0,000
1986	nov	361,71	24	343,65	2,042	1,0251	0,0251		0,001		0,000
1987	jun	261,56	25	327,20	1,960	0,9760		-0,024	0,001		0,000
1988	ago	202,72	26	313,52	1,885	0,9352		-0,065	0,004		0,000
1989	jun	400,98	27	308,75	1,815	0,9210		-0,079	0,006		0,000
1990	sept	241,77	28	299,02	1,750	0,8920		-0,108	0,012	-0,001	
1991	jul	392,33	29	288,22	1,690	0,8597		-0,140	0,020	-0,003	
1992	mayo	570,24	30	281,01	1,633	0,8382		-0,162	0,026	-0,004	
1993	jul	473,83	31	276,32	1,581	0,8242		-0,176	0,031	-0,005	
1994	jul	459,13	32	261,56	1,531	0,7802		-0,220	0,048	-0,011	
1995	jul	495,44	33	242,39	1,485	0,7230		-0,277	0,077	-0,021	
1996	jun	180,55	34	241,77	1,441	0,7212		-0,279	0,078	-0,022	
1997	abril	384,77	35	233,46	1,400	0,6964		-0,304	0,092	-0,028	
1998	ago	133,76	36	210,59	1,361	0,6282		-0,372	0,138	-0,051	
1999	jun	233,46	37	202,72	1,324	0,6047		-0,395	0,156	-0,062	
2000	jun	451,78	38	185,39	1,289	0,5530		-0,447	0,200	-0,089	
2001	jul	810,85	39	180,55	1,256	0,5385		-0,461	0,213	-0,098	
2002	ago	408,51	40	169,90	1,225	0,5068		-0,493	0,243	-0,120	
2003	jun	608,28	41	168,97	1,195	0,5040		-0,496	0,246	-0,122	
2004	jul	210,59	42	133,76	1,167	0,3990		-0,601	0,361	-0,217	
2005	jun	385,01	43	115,29	1,140	0,3439		-0,656	0,430	-0,282	
2006	jul	794,63	44	98,79	1,114	0,2947		-0,705	0,497	-0,351	
2007	jul	185,39	45	58,36	1,089	0,1741		-0,826	0,682	-0,563	
2008	ago	276,32	46	18,81	1,065	0,0561		-0,944	0,891	-0,841	
2009	jul	313,52	47	13,69	1,043	0,0408		-0,959	0,920	-0,882	
2010	feb	8,12	48	8,12	1,021	0,0242		-0,976	0,952	-0,929	
suma							10,165	-10,17	13,949	-4,704	7,843
media				335,25							
				Media aritmética	Qm	335,25	[m3/s]				
				Coef. Variación	Cvx	0,54					
				Desv. Estándar	Sx	182,64					
				Coef. inclinación	Csx	1,090					

Tabla 5.13 - Valores de K_T para las distribuciones Pearson-3, log Pearson-3 y Gumbel

Inclina tion coeffi cient $C_{SX} /$ C_{SY}	Recurrence interval T in years													
	1,01	2	2,5	3	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
0	- 2,326	0,000	0,253	0,440	0,842	1,282	1,645	1,751	1,960	2,054	2,326	2,576	2,878	3,090
0,1	- 2,252	- 0,017	0,238	0,417	0,836	1,292	1,673	1,785	2,007	2,107	2,400	2,670	3,004	3,233
0,2	- 2,178	- 0,033	0,222	0,403	0,830	1,301	1,700	1,818	2,053	2,159	2,473	2,763	3,118	3,377
0,3	- 2,104	- 0,050	0,205	0,388	0,824	1,309	1,726	1,849	2,098	2,211	2,544	2,856	3,244	3,521
0,4	- 2,029	- 0,066	0,189	0,373	0,816	1,317	1,750	1,830	2,142	2,261	2,615	2,949	3,366	3,666
0,5	- 1,955	- 0,083	0,173	0,358	0,808	1,323	1,774	1,910	2,185	2,311	2,686	3,041	3,488	3,811
0,6	- 1,880	- 0,099	0,156	0,342	0,800	1,328	1,797	1,939	2,227	2,359	2,755	3,132	3,609	3,956
0,7	- 1,806	- 0,116	0,139	0,327	0,790	1,333	1,819	1,967	2,268	2,407	2,824	3,223	3,730	4,100
0,8	- 1,733	- 0,132	0,122	0,310	0,780	1,336	1,839	1,993	2,308	2,453	2,891	3,312	3,850	4,244
0,9	- 1,660	- 0,148	0,105	0,294	0,769	1,339	1,859	2,018	2,346	2,498	2,957	3,401	3,969	4,388
1,0	- 1,588	- 0,164	0,088	0,277	0,758	1,340	1,877	2,043	2,384	2,542	3,022	3,489	4,088	4,531
1,1	- 1,518	- 0,180	0,070	0,270	0,745	1,341	1,894	2,066	2,420	2,585	3,087	3,575	4,206	4,673
1,2	- 1,449	- 0,195	0,053	0,242	0,732	1,340	1,910	2,087	2,455	2,626	3,149	3,661	4,323	4,815
1,3	- 1,383	- 0,210	0,036	0,225	0,719	1,339	1,925	2,108	2,489	2,666	3,122	3,745	4,438	4,955
1,4	- 1,318	- 0,225	0,018	0,207	0,705	1,337	1,938	2,128	2,521	2,706	3,271	3,828	4,553	5,095
1,5	- 1,256	- 0,240	0,001	0,189	0,690	1,333	1,951	2,146	2,552	2,743	3,330	3,910	4,667	5,234
1,6	- 1,197	- 0,254	- 0,016	0,171	0,675	1,329	1,962	2,163	2,582	2,780	3,388	3,990	4,779	5,371
1,7	- 1,140	- 0,268	- 0,033	0,153	0,660	1,324	1,972	2,179	2,611	2,815	3,444	4,069	4,890	5,507
1,8	- 1,087	- 0,282	- 0,050	0,135	0,643	1,318	1,981	2,193	2,638	2,848	3,499	4,147	5,000	5,642
1,9	- 1,037	- 0,294	- 0,067	0,117	0,627	1,310	1,989	2,207	2,664	2,881	3,553	4,223	5,108	5,775
2,0	- 1,990	- 0,307	- 0,084	0,099	0,609	1,302	1,996	2,219	2,689	2,912	3,605	4,298	5,215	5,908
2,1	- 0,946	- 0,319	- 0,100	0,081	0,592	1,293	2,001	2,230	2,172	2,942	3,656	4,372	5,320	6,039
2,2	- 0,905	- 0,330	- 0,116	0,063	0,574	1,284	2,006	2,240	2,735	2,970	3,705	4,444	5,424	6,168
2,3	- 0,867	- 0,341	- 0,131	0,045	0,555	1,273	2,009	2,248	2,755	2,997	3,753	4,515	5,527	6,296
2,4	- 0,832	- 0,351	- 0,147	0,027	0,537	1,262	2,011	2,256	2,775	3,023	3,800	4,584	5,628	6,423
2,5	- 0,799	- 0,360	- 0,161	0,010	0,518	1,250	2,012	2,262	2,793	3,048	3,845	4,652	5,728	6,548
2,6	- 0,769	- 0,369	- 0,176	- 0,007	0,499	1,238	2,013	2,267	2,811	3,071	3,889	4,718	5,827	6,672
2,7	- 0,740	- 0,377	- 0,189	- 0,024	0,480	1,224	2,012	2,272	2,827	3,093	3,832	4,783	5,923	6,794
2,8	- 0,714	- 0,384	- 0,203	- 0,041	0,460	1,210	2,010	2,275	2,841	3,114	3,973	4,847	6,019	6,915
2,9	- 0,690	- 0,390	- 0,215	- 0,057	0,440	1,195	2,007	2,277	2,855	3,134	4,013	4,909	6,113	7,034
3,0	- 0,667	- 0,396	- 0,227	- 0,073	0,420	1,180	2,003	2,278	2,867	3,152	4,051	4,970	6,205	7,152

Fuente: Lauterjung, H. y G. Schmidt "Planning of water intake structures for irrigation and hydropower" GTZ Publication (1989) Página 66.

6.0 COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA MICROHIDRAULICO Y CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA MICROCENTRAL

6.1 Obras Civiles

En este inciso se describe la función de cada obra, se entregan recomendaciones de buenas prácticas y se indica literatura especializada relacionada con el diseño de obras en microcentrales.

Cada componente de las obras civiles debe cumplir eficientemente su propia función con respecto al agua y el medio ambiente, por lo que básicamente el diseño debe reducir al mínimo el impacto negativo que se pueda originar al alterar el paisaje natural desde el inicio de su construcción, y asegurar al máximo la estabilidad de cada componente para el tiempo de servicio diseñado. En consecuencia, la obra debe considerar los siguientes aspectos:

- Preservar la fauna y flora del lugar
- Evitar la erosión de los suelos y el deslizamiento de las laderas
- Evitar el asentamiento de las diferentes estructuras
- Uso legal y racional del agua de acuerdo a normas vigentes
- Evitar diseños inadecuados que puedan ocasionar inundaciones

Con respecto al agua, es lograr que el diseño de todos los componentes funcione de manera eficaz y simultáneamente, de tal manera que el agua llegue a la turbina con la presión suficiente y necesaria para hacerla funcionar y generar la energía esperada.

En síntesis, las principales funciones de las obras civiles, con respecto al agua, son: captar, regular, conducir, desarenar o desripiar, accionar la turbomáquina y restituir el agua al cauce en las condiciones de cantidad y calidad de la captación.

La elaboración de proyectos no reemplaza la participación de un profesional calificado el que podrá hacer modificaciones a las prácticas de diseño recomendadas en la literatura, debidamente fundamentadas en los informes técnicos y memorias de cálculo.

6.1.1 Selección del sitio para bocatoma

La captación de agua en un río o arroyo debe considerar principios básicos asociados a la calidad del agua que se deriva a la micro central y a la seguridad de las obras que se ejecutan en el cauce natural.

La calidad del agua debe asegurarse mediante la separación de piedras, ramas u otros objetos que, de ingresar a las obras de conducción, obstruirán el flujo de agua y en caso de llegar hasta la turbina provocarán daños severos e interrupción del servicio. Debe también asegurarse la separación de arenas u otras partículas sólidas que por su tamaño provoquen erosión en los ductos y en la tubería, reduciendo su vida útil.

El comportamiento del flujo depende de la forma del cauce lo cual incide en el contenido de sólidos suspendidos de la forma siguiente:

En tramos rectos de los arroyos el flujo es uniforme y en su parte alta contiene menor cantidad de sólidos en suspensión en el flujo de agua.

- **Tramos curvos**

En los tramos curvos, en cambio, se produce un flujo en forma de espiral, que erosiona de arriba hacia abajo la margen externa de la curva y se mueve de abajo hacia arriba a la salida del codo depositando el material en suspensión en el margen interno de la curva (ver figura).

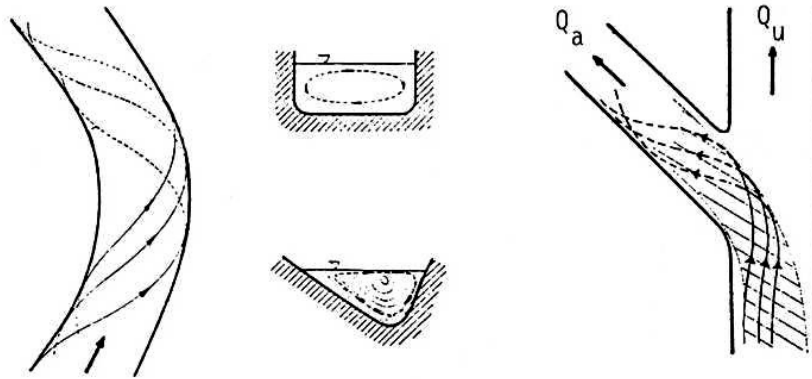


Fig. 6.1 - Desarrollo de flujo espiral en el lecho del río

Fuente: GTZ - GATE, Lauterjung, Helmuth "Planning of Intake Structures intake structures for irrigation or hydropower" Eschborn, Alemania (1989) pp. 27 -30

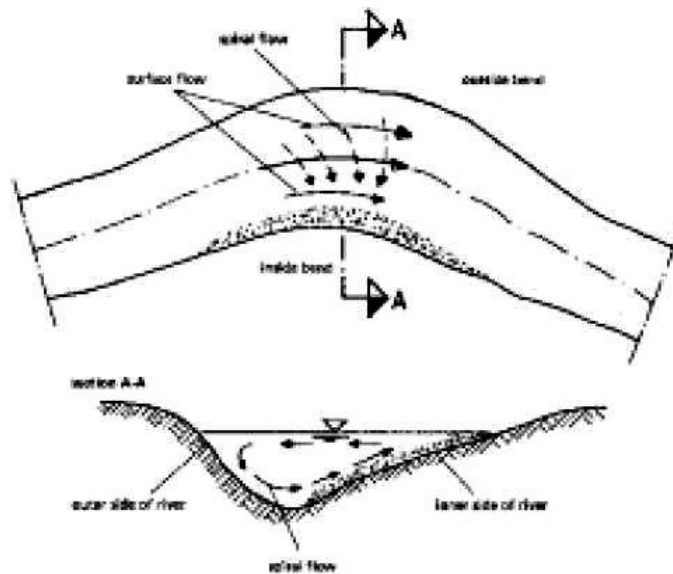
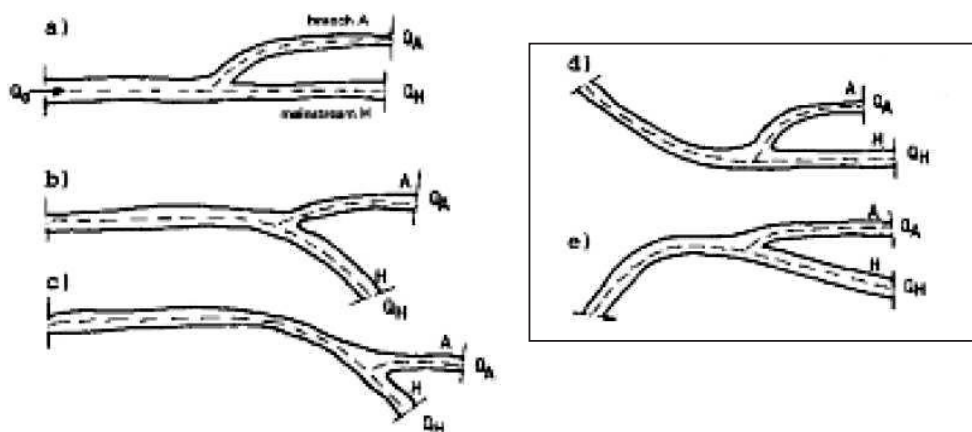


Fig. 6.2 Depósitos en un segmento curvo de un cauce

Fuente: GTZ - GATE, Lauterjung, Helmuth " Planning of Intake Structures intake structures for irrigation or hydropower" Eschborn, Alemania (1989) pp. 27 -30



Distribución de la carga en el lecho de la corriente principal bajo la condición de un desvío de 50 % ($Q_A = Q_H = 0,50 * Q_0$)		
	Remanente de carga de sólidos en la corriente principal, en %	Entrada de carga de sólidos en el ramal , en %
a)	0	100
b)	50	50
c)	89	11
d)	0	100
e)	100	0

Fig. 6.3 - Depósito de sedimentos según formas de secciones

Fuente: GTZ - GATE, Lauterjung, Helmuth "Planning of Intake Structures intake structures for irrigation or hydropower" Eschborn, Alemania (1989) pp. 27 -30

NOTA: En la Figura 6.3 para aclarar el caudal de entrada haga análisis en la zona de origen de la turbulencia que causa el arrastre (origen del flujo en espiral).

Una buena explicación, de fácil comprensión, respecto del origen de los flujos en espiral y vórtices la pueden encontrar en el libro de Schwenk, Theodor "El Caos Sensible " Ediciones Rudolf Steiner (1989).

Sobre la base de este comportamiento del flujo de agua y de los sólidos en suspensión, las recomendaciones para ejecutar la toma de agua son las siguientes:

- Si el emplazamiento elegido se encuentra en un **tramo curvo** del arroyo, la toma debe ejecutarse en la salida aguas abajo del codo o curva y del lado cóncavo de la misma (margen exterior). De este modo la porción de sólidos en el agua que se deriva será menor a la media del arroyo.
- Si el emplazamiento se encuentra en un **tramo recto** del arroyo conviene ejecutar una toma frontal o lateral y, en este caso, la proporción de sólidos en el agua que ingresa a la toma será la misma que la media del arroyo.

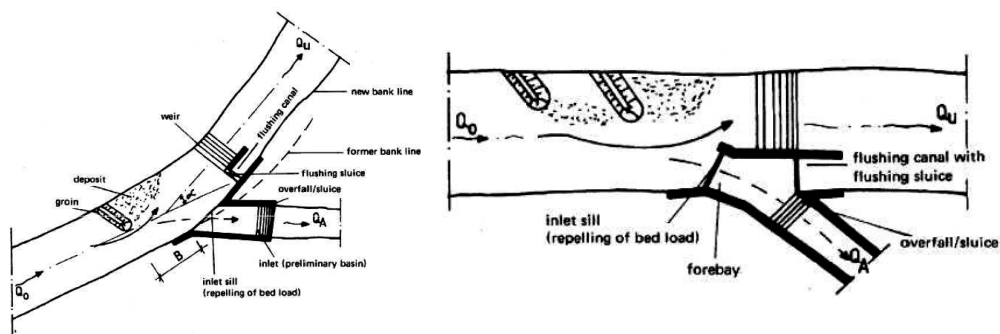


Fig. 6.4 - Bocatoma lateral con barrera para embalsamiento y medidas de eliminación de carga de sólidos.

Fuente: GTZ - GATE, Lauterjung, Helmuth " Planning of Intake Structures intake structures for irrigation or hydropower" Eschborn, Alemania (1989) pp. 27 -30

La seguridad debe garantizarse cuando se realizan obras de cierre en el curso del arroyo. Además de observar especificaciones de materiales y técnicas constructivas que atiendan a la seguridad de las presas, debe prestarse especial atención a la evacuación de crecidas y a la protección de la erosión de las márgenes del entorno de la presa.

En las nacientes del arroyo o en las zonas con suelos de poca retención o con grandes pendientes, cuando hay estaciones de fuertes precipitaciones, el caudal máximo puede ser varios centenares de veces mayor que el caudal medio. En tales situaciones, las obras de cierre deben estar previstas para soportarlo y evacuarlo.

Finalmente, el primer considerando para la elección de la bocatoma lo constituye la condición del tramo pero también debe considerarse que si este está localizado en un sector estrecho es más complejo hacer la barrera que en un sector con una sección ancha ya que en la crecida en el segundo caso el eje hidráulico aumenta considerablemente por lo que debe considerarse un vertedero adecuado para que la barrera pueda soportar la crecida.

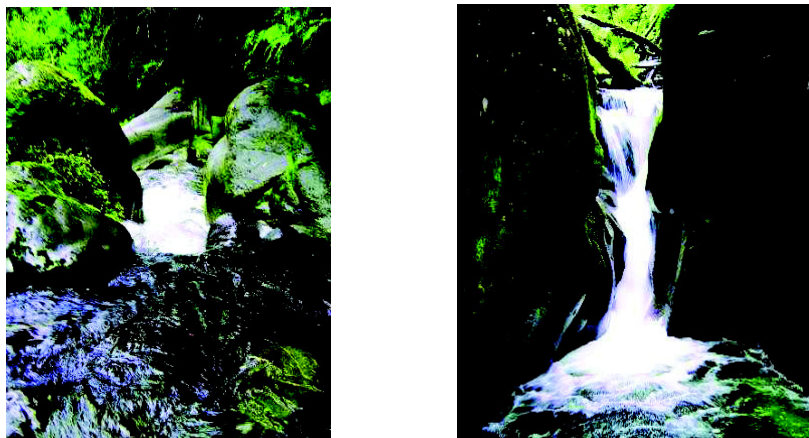


Fig. 6.5 - Estrechamiento en el cauce propenso a inundaciones por crecidas visto aguas arriba (izq.) y aguas abajo (der.).

Fuente: Fotografía Javier Gho

6.1.2 Tipos de bocatoma

- **Bocatoma Lateral**

En el diseño de la bocatoma tipo lateral debe considerarse lo siguiente:

- La dimensión de la bocatoma para que el flujo de entrada tenga una velocidad en el rango $0,5 - 1 \text{ [m/s]}$.
- Si la velocidad es demasiado baja, el área de la ventana de captación será muy grande; por el contrario, si la velocidad es muy alta el flujo será inestable y la pérdida de carga en la entrada será alta.
- La reja en la entrada debiera estar diseñada para que el flujo esté a $10 - 20 \text{ [cm]}$ bajo el umbral, de forma de obtener flujo estable.



Fig. 6.6 - Componentes de una bocatoma lateral en dos instalaciones tipo

Fuente: <http://www.dem.si/en-gb/Power-plants-and-generation/Power-plants/Ru%C5%A1e-Small-HPP> y ASEAN Centre for Energy - GIZ "Good and Bad of mini hydropower" Vol. 1 por Klaus Jorde, et al. ENTEC ASEAN German Mini Hydro Project , Indonesia (2009).

El alto y el área de la toma debe ser diseñada con el mínimo tamaño. La bocatoma lateral debe tener una compuerta de limpieza que generalmente para pequeñas microcentrales es un compuerta tipo "stop log" de madera o metal. Su sistema de izado debe ser manual con volante y tornillo para permitir un fácil manejo que permite una limpieza frecuente sin que sea un trabajo tedioso. La bocatoma de orificio sumergido es la más usada en ríos con crecidas importantes porque no enfrenta el cauce sino que esta paralela a este en una de las orillas y solo es la barrera del azud la que enfrenta el cauce; por lo general se diseña para las crecidas de 100 - 200 años de período de retorno. La ventana de captación, se rige por la siguiente ecuación:

$$Q = \mu * a * b * \sqrt{(2 * g * z)}$$

Donde :

Q : caudal de descarga a través de la ventana (emplear 120 % de la descarga de diseño)

μ : coeficiente de descarga (emplear 0,80 para condiciones de sumergencia)

a: altura de apertura de la ventana

b: ancho de la ventana

z: pérdida de carga a través de la ventana (en función del tipo de reja)

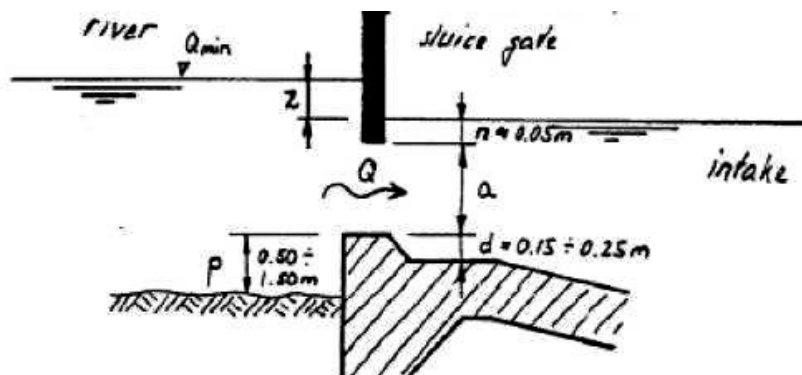


Fig. 6.7 - Esquema de bocatoma de orificio sumergido

Fuente: GTZ "Diversion Structure and Intake" ASEAN . German Minihydro Project s/f



Fig. 6.8 - Bocatomas con barrera tipo azud y captación lateral con ventana tipo orificio sumergido

Fuente: GTZ "Diversion Structure and Intake" ASEAN - German Minihydro Project s/f

- **Bocatoma Tirolesa o Bocatoma de Sumidero**

Diseñada específicamente para ríos de montaña (gradientes entre 2,5 - 10%) con sólidos en suspensión durante las crecidas. Abajo de la reja de captación se diseña un canal colector.

Si bien esta captación es diseñada como un sistema auto limpiante no siempre esto es realidad ya que depende de la cantidad y tamaño de los sólidos transportados por el agua en el cauce.

Una vez hecho el cálculo teórico para evitar obstrucciones se recomienda como buena práctica sobredimensionar largo y ancho por un 30%; en consecuencia, la recomendación es que superficie teórica de captación sea multiplicada por un 70% del valor teórico obtenido.

Si bien algunos autores consideran diseños sin barras (tipo canal), por las características de nuestros ríos, siempre se deberá considerar una reja en la entrada instalada dimensionada en la separación de las barras y en el ángulo de que recomiendan. Como referencia, se considera una capacidad de toma de 100 - 300 l/s por unidad de ancho con barras en 30° de inclinación y espaciamiento de 20 - 30 mm con una longitud de 1 m.

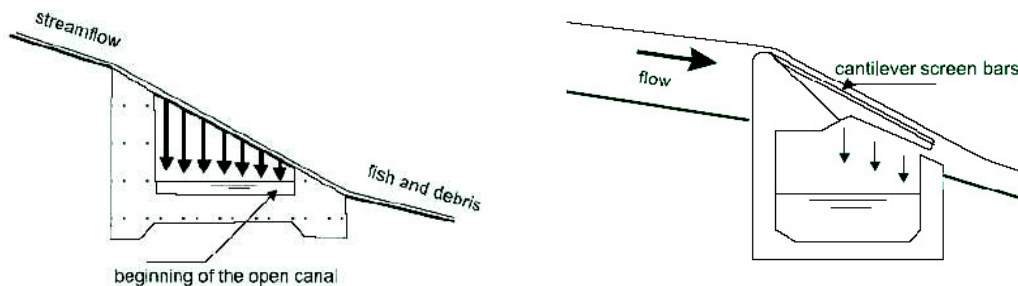


Fig. 6.9 - Captación tipo tirolesa con rejas soportadas (izq.) y en voladizo (der.)

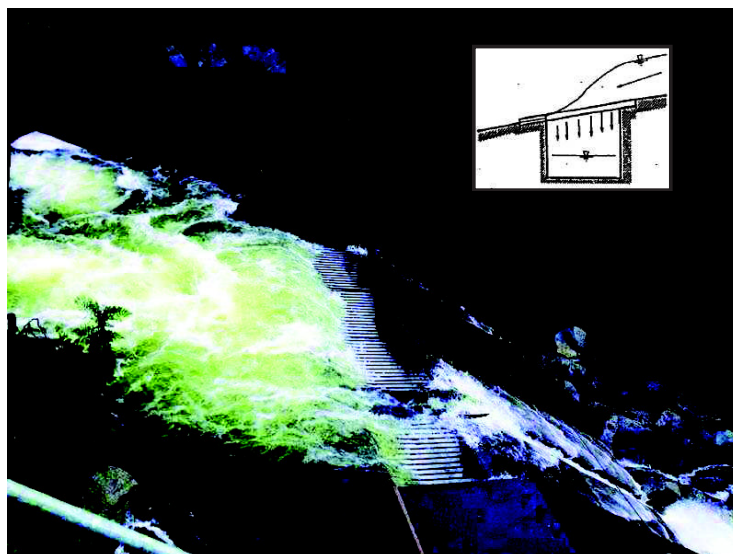


Fig. 6.10 - Captación tipo tirolesa en MCH La Arena
Fuente: Fotografía de JMS Ingenieros Consultores

- **Bocatoma tipo Coanda**

La Coanda es una tecnología que ha aumentado crecientemente en bocatomas desde hace algunos años porque es autolimpiante; la rejilla es en acero inoxidable y debe considerarse que desde la rejilla hacia abajo el agua cae en un canal colector por lo que en sistema de baja o muy baja altura se pierde un mínimo de 50 cm y la capacidad máxima de captación es de 25 [m³/s].

Cuando se proyecta un diseño con este tipo de toma hay que considerar el tamaño estándar del fabricante ya que se trata de un sistema de captación - con medidas estándares - que permite hasta unos 400 [l/s] por metro lineal, dependiendo de la altura de la lámina de agua sobre la superficie.

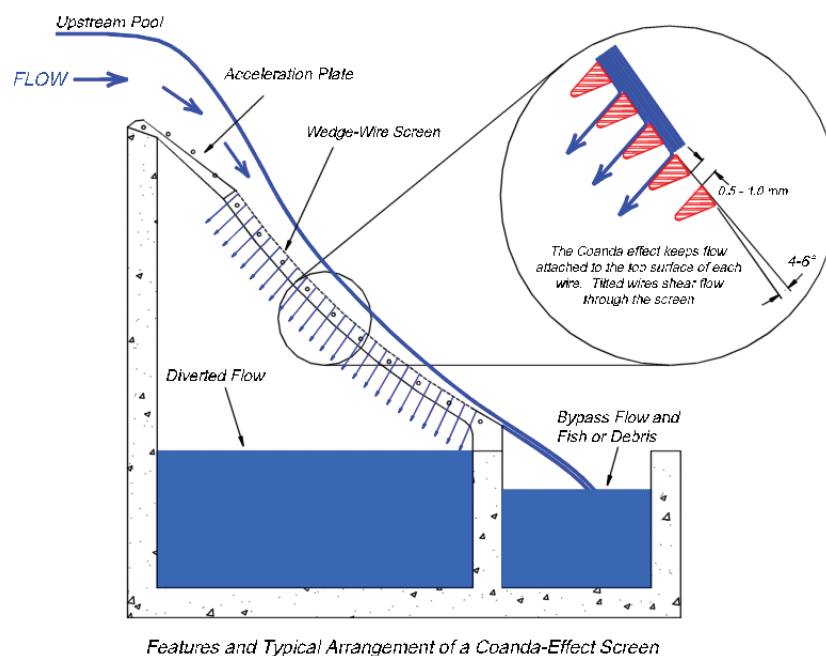


Fig. 6.11 - Características de la reja tipo Coanda con la forma de la obra de captación

Fuente: Tony L. Wahl (1) and Robert F. Einhellig (2) "Laboratory Testing and Numerical Modeling of Coanda-Effect Screens" 2000 Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning & Management July 30 - August 2, 2000 — Minneapolis, Minnesota

Puede ser instalada en la barrera tipo azud instalada en el lecho del río como se presenta en la figura siguiente, o bien en una de similares características instalada como vertedero lateral, para no exponerla a las crecidas.

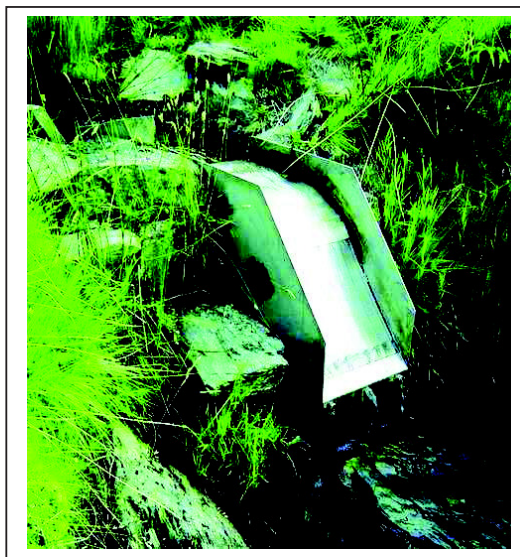


Fig. 6.12 - Instalación de captación de agua para microcentrales hidroelectricas

Fuente: <http://www.aquashear.com/>

- **Bocatoma sumergida con placa perforada**

Este tipo de bocatoma ha sido implementada en proyectos en Asia por la Cooperación Alemana (GIZ) y es recomendada para pequeñas captaciones ya que evita gran parte de residuos flotante obstruyan la reja de captación; en la parte inferior posee una tubería con una válvula de compuerta para limpieza de los sedimentos.

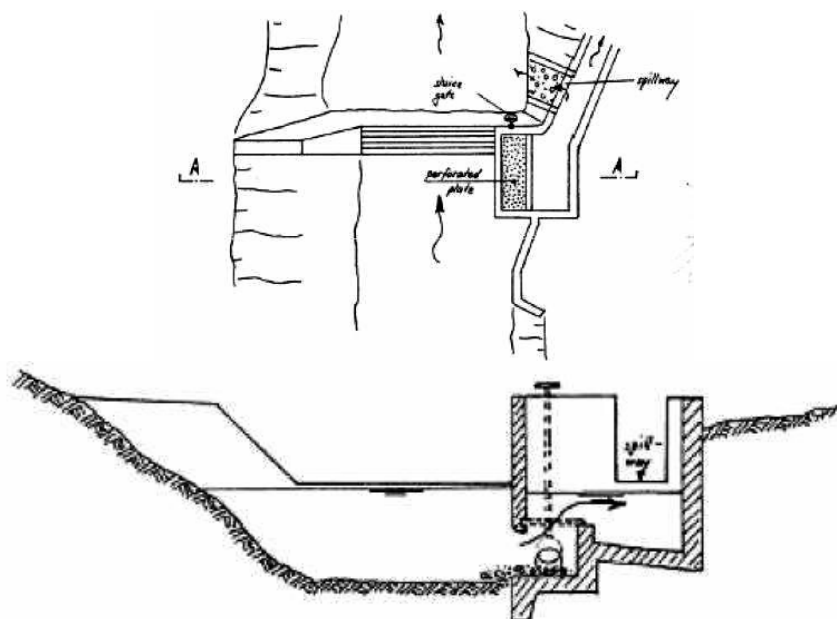


Fig. 6.13 - Esquema de instalación de bocatoma de superficie con placa perforada.

Fuente: GTZ "Diversion Structure and Intake" ASEAN . German Minihydro Project s/f

En resumen, para la selección de la bocatoma las recomendaciones son las siguientes:

- Si el gradiente del cauce es superior a 2,5 % (25 m/km) se aconseja implementar una bocatoma de sumidero o tirolesa; para pendientes menores se recomienda una bocatoma lateral.
- En la captación debe desviarse el caudal requerido de la corriente principal para cualquier caudal y nivel de agua en el cauce
- La localización de la bocatoma y su diseño deben evitar la entrada de sólidos y prevenir durante las crecidas la entrada de agua a esta en el canal de entrada deben instalarse "stop log" para una cierre completo de la entrada cuando se lo requiera, independiente si hay o no compuerta de servicio.
- Deben tomarse resguardos para evitar la entrada de basura de gran tamaño y sólidos en suspensión en el agua captada.

6.1.3 Desarenador

La obra es una estructura diseñada para depositar y remover el sedimento de un dado tamaño que pudiera afectar la turbina y debe además tener un vertedero para evitar la entrada de exceso de agua hacia el canal o tubería de conducción a la cámara de carga; entre las condiciones básicas que exige este diseño están las siguientes:

- El diámetro mínimo de materiales suspendidos - dependiendo de la especificación del tipo de turbina - está en el rango de 0,50 a 1mm
- Se debe tener una capacidad suficiente para acumular los sedimentos sin reducir significativamente el área de flujo y permitir una fácil eliminación de los sedimentos evitando la erosión del suelo que rodea y soporta la base de la tubería y del depósito, por lo que es mejor construir una superficie revestida (mampostería de piedra o concreto) similar al canal de desagüe del aliviadero
- La velocidad de sedimentación del material es de alrededor de 0,1 [m/s]
- La velocidad del flujo en la sección es del orden de 0,3 [m/s]
- El ancho mínimo es dos veces el ancho del canal de entrada
- Se debe impedir la turbulencia del agua causada por cambios de área o recodos que harían que los sedimentos pasen hacia la tubería de presión. El ángulo de entrada (transición) debe considerarse siempre en una relación 2:1 para evitar el desprendimiento de capa límite y provocar turbulencia

En las figuras siguientes se muestran esquemas de diseño de desarenadores instalados al inicio del canal y a la entrada de la cámara de carga

Los diseños mostrados no son necesariamente los más adecuados pero dan una idea de alternativas que el proyectista puede realizar, cumpliendo siempre con los principios señalados anteriormente.

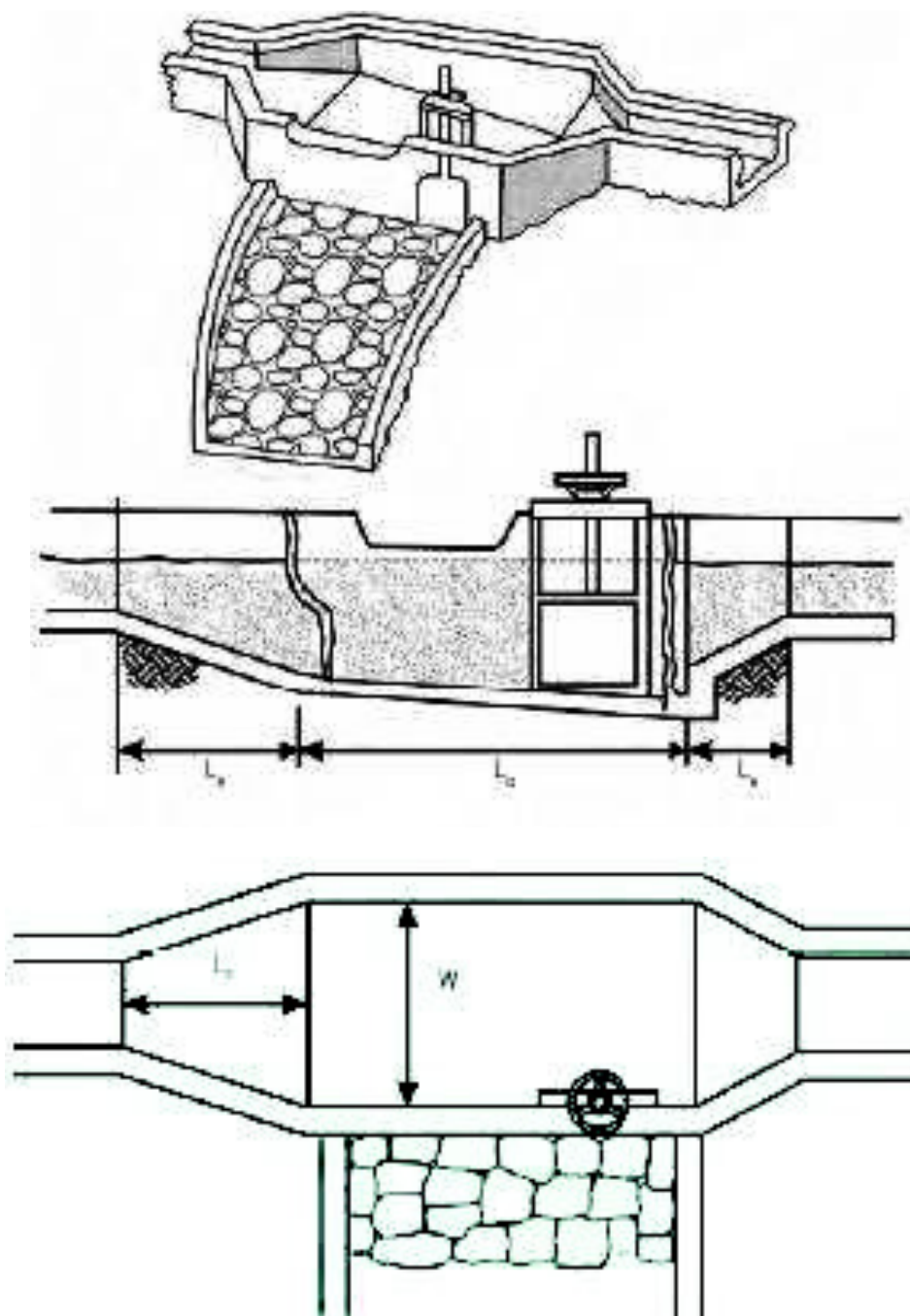


Fig. 6.14 - Esquema de un desarenador al inicio del canal

Fuente: Dávila, C. et.al. *"Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas"*, CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

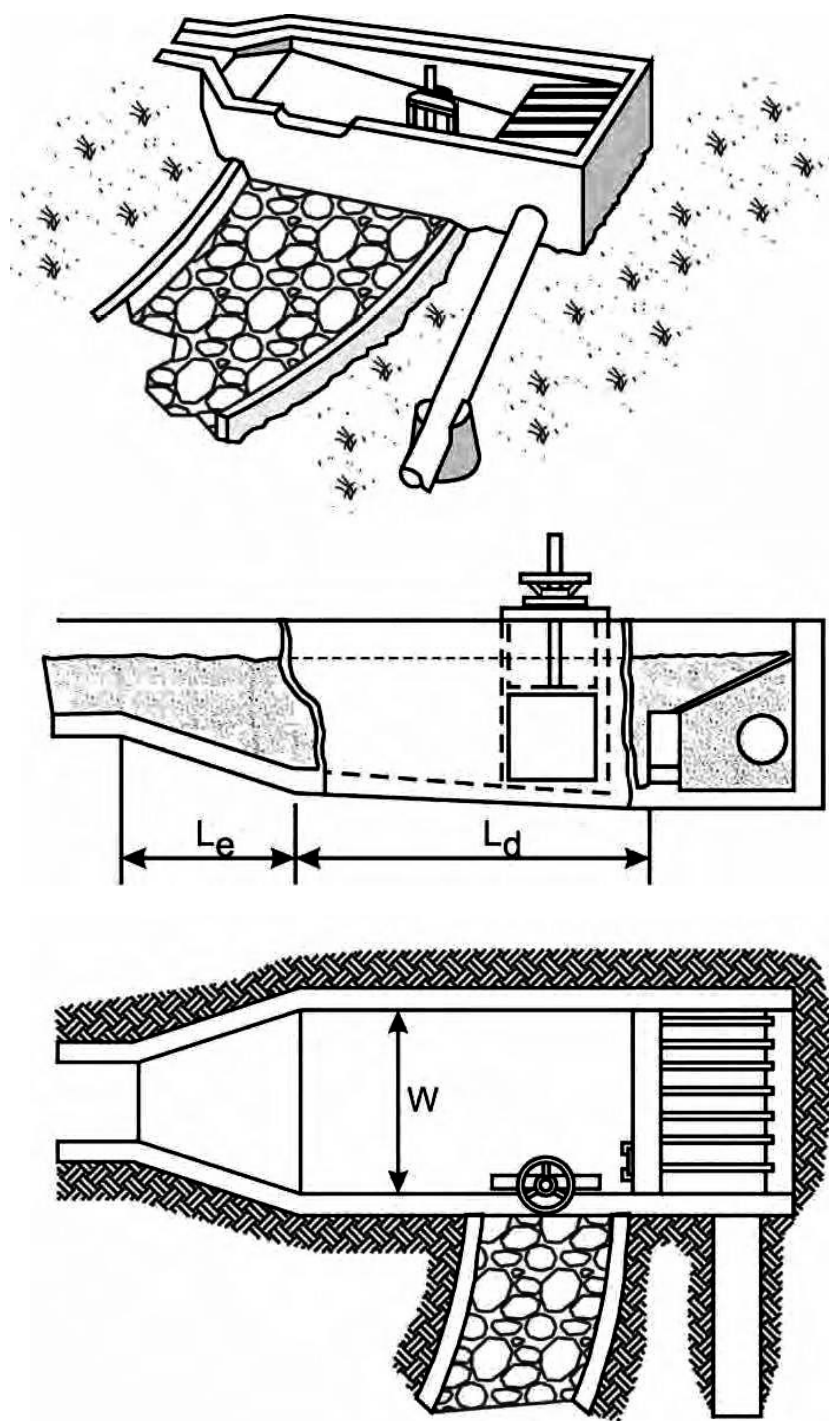


Fig. 6.15 - Esquema de un desarenador a la entrada de la cámara de carga
Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

La longitud total del desarenador se divide en tres partes: entrada (L_e), decantación (L_d) y salida (L_s). La parte central es el área de decantación. La profundidad del desarenador se divide en dos partes: decantación (d_d) y de recolección (d_r). Es muy importante que el ingeniero proyectista sepa distinguir entre estas dos profundidades, ya que el desarenador funcionará correctamente solo si no se permite que la sedimentación que se va formando exceda el borde del área de recolección que se encuentra en el límite superior de la zona de recolección (d_r).

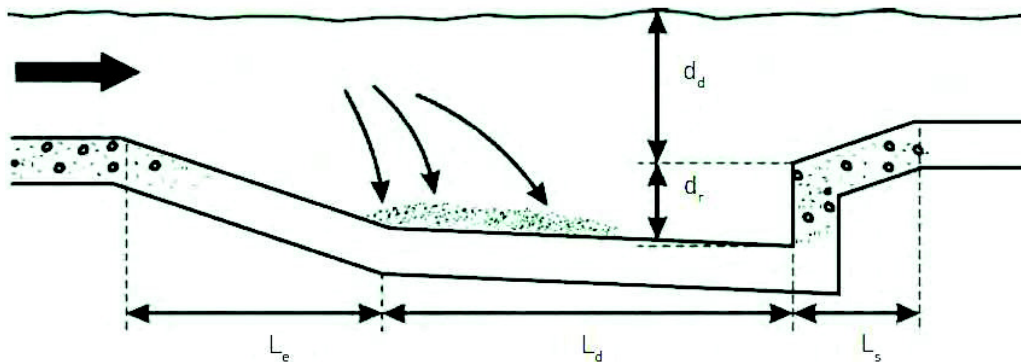


Fig. 6.16 - Dimensiones características por zonas del sedimentador

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

La velocidad horizontal del agua (V_h) será baja, puesto que la zona de decantación del desarenador tiene una gran sección transversal (A). En el diseño del desarenador deberá tenerse cuidado en tomar una velocidad baja. Se recomienda un valor de 0,2 [m/s] en la mayoría de los casos, pero también pueden adoptarse valores más altos, hasta 0,5 [m/s].

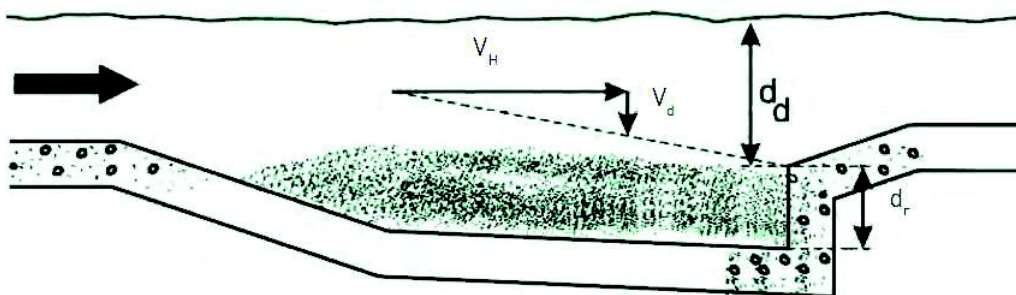


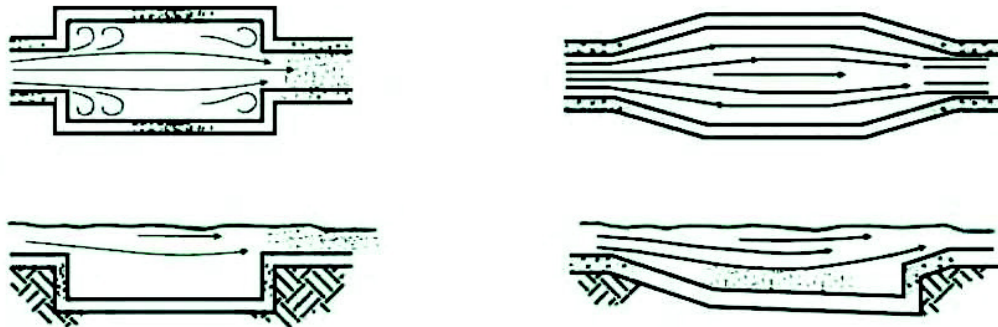
Fig. 6.17 - Trayectoria de partículas en el proceso de sedimentación

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

Para el caso de los valores de la profundidad (d_d), estos no deberán ser mayores a 1 [m] para fines de diseño. Otra razón práctica para ello es que el drenaje de la sedimentación del desarenador puede ser difícil de realizar si este es muy profundo.

En el diseño de los desarenadores hay que evitar dos cosas: la turbulencia y la tendencia al desplazamiento. La figura 6.17 muestra un diseño incorrecto que posibilita ambas cosas.

Es importante evitar la turbulencia porque agita el sedimento, manteniéndolo en suspensión. La tendencia al desplazamiento de los depósitos es la capacidad que tiene el agua de moverse rápidamente desde la entrada hasta la salida, transportando consigo una cantidad de sedimento. La figura 6.17 muestra las secciones de entrada y salida necesarias.

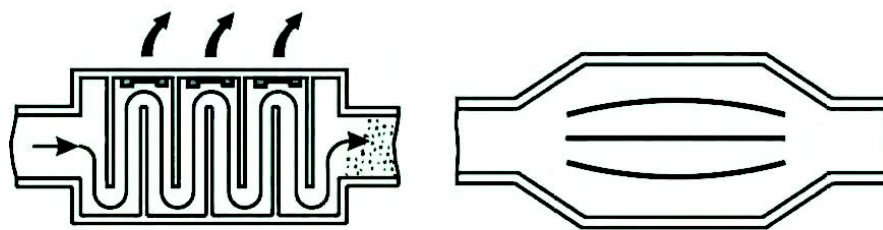


Mal diseño en el centro de la corriente Buen diseño: baja velocidad en todo lo ancho

Fig. 6.18 Observaciones en el diseño de desarenadores

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

En general, resulta complicado construir desarenadores y la tentación es reducir su tamaño mediante la incorporación de deflectores. La figura 6.18 muestra un diseño incorrecto de un desarenador con deflectores. Hay que tomar las precauciones del caso para evitar que surjan nuevos problemas.



Incorrecto

Correcto

Fig. 6.19 - Desarenadores con deflectores y muros directrices

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

Por ejemplo, si los deflectores son colocados a poca distancia entre sí, el área transversal del flujo será pequeña lo que ocasionará altas velocidades, impidiendo que el sedimento se asiente. Las curvas pronunciadas crean turbulencia y por lo tanto, la ulterior suspensión de partículas, pudiendo también estimular tendencias al desplazamiento del sedimento. Asimismo, a los tanques con deflectores frecuentemente les resulta difícil desfogar los depósitos de sedimento.

No obstante, si son diseñados con cuidado, pueden resultar efectivos y más compactos que los depósitos normales.

Los desarenadores son práctica común en el diseño de canales, embalses y/o sistemas de regadío ya que se requiere eliminar sólidos para que no colmaten los cales o reduzcan volúmenes de embalsamiento, pero para las microcentrales es necesario hacer algunas recomendaciones.

Hay divergencias en los criterios pero estos se resumen a primero decidir si es necesario implementar un sedimentador y segundo el tamaño de partícula a eliminar.

En primer lugar si la altura de carga es inferior o igual a 150 m una concentración sobre 200 ppm de partículas, define el límite para que se requiera un desarenador; si la altura es mayor de 150 m - turbinas de impulso tipo Pelton o Turgo - se requiere desarenador si este valor es superior a 150 ppm.

En segundo lugar, está el tamaño de partícula a eliminar. Nozaki (1985) sugiere un rango entre 0,3 - 0,6 [mm] para plantas con altura entre 100 y 300 [m] de altura bruta de carga. En India la exigencia es diseñar los desarenadores para 0,2 [mm] independiente de la altura y la experiencia del autor en Chile es de hacerlo independiente de la altura para 0,3 [mm], para no sobredimensionar demasiado el volumen de la obra.

6.1.4 Conducción a superficie libre (canal abierto)

- **Canal de Conducción**

El canal es un componente importante de las obras civiles de una microcentral hidráulica, su principal función es conducir el agua desde la bocatoma hasta la cámara de carga, pasando por los desarenadores y otros mecanismos que pueden construirse en el trayecto.

- **Tipos de canales**

Los canales están determinados por las características geométricas de su sección y por el material de construcción. Los más conocidos y usados son los rectangulares, trapezoidales, circulares y semicirculares. Por su material de construcción tenemos entre los más comunes a los de tierra, concreto, mampostería de piedra, madera y tubería de PVC. En el caso del revestimiento, este será necesario solo en lugares donde se justifique (terrenos arenosos, gredosos, etc.), donde permita alta filtración del agua en movimiento.

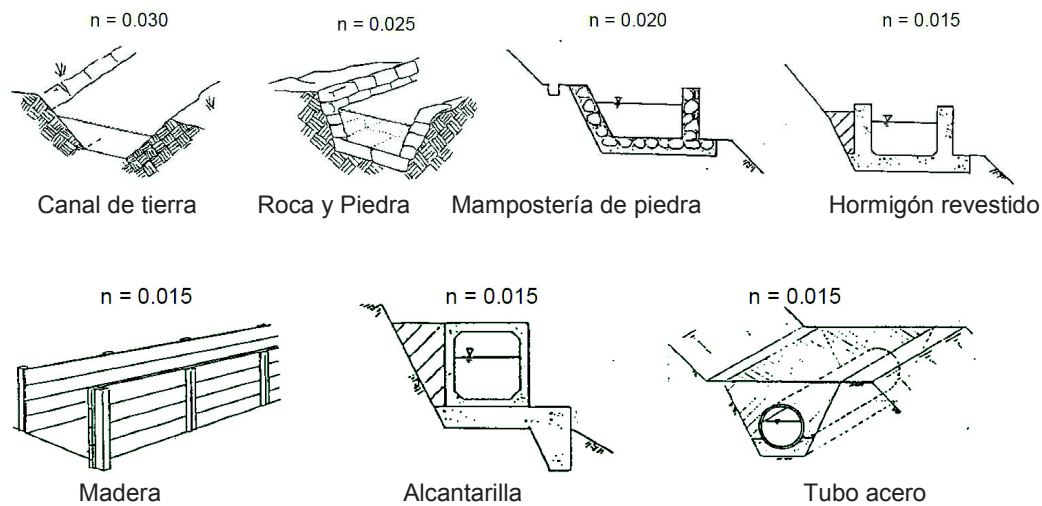


Fig. 6.20 - Conducciones abiertas y coeficiente de rugosidad de Manning
Fuente: Tokyo Electric Power Co. (TEPCO) "Module 4.3.1 Designing" Workshop of Renewable Energy ,
November 14 - 25 (2005).

Es muy importante elegir correctamente el tipo de canal para cada parte de longitud del canal. Una vez elegido el tipo de canal y el material de revestimiento correspondiente, se procederán a calcular las dimensiones adecuadas, así como el desnivel correcto entre el inicio y final de este. Dependiendo de la longitud del canal, así como de las características geológicas del terreno, se pueden combinar varios tipos de canal y también materiales de construcción; por ejemplo canal rectangular y trapezoidal, de tierra y revestido, etc. Deberá tenerse mucho cuidado con la pendiente, la sección y la rugosidad, de tal forma que al final se pueda conducir el caudal de diseño del proyecto.

El tamaño de la sección transversal y pendiente debiera ser determinada de forma que la conducción sea la más económica para llevar el agua a la turbina. El tamaño de la de la sección transversal está estrechamente ligada a la pendiente. La pendiente del canal debe ser suave para reducir las pérdidas por fricción pero esto causa una baja velocidad y una mayor área de flujo, con el consiguiente impacto sobre los costos. Por el contrario, una pendiente pronunciada dará una mayor velocidad y una sección menor pero una mayor pérdida de carga.

A continuación se describen algunos parámetros que son importantes en el cálculo de las dimensiones de un canal.

- **Sección y ángulo del talud del canal**

El flujo del agua en un canal hecho de un material suelto, como un suelo arenoso, hará que las paredes se desmoronen hacia dentro, a menos que los lados estén inclinados ligeramente y el ancho del canal esté en relación a su profundidad. La ventaja de revestir los canales es que resultan más angostos para el caudal. Esto significa que no es necesaria una gran excavación horizontal en una ladera angosta. Normalmente, se prefieren perfiles trapezoidales porque son muy eficientes hidráulicamente, aunque dependiendo de las características geológicas del suelo

de fundación, los rectangulares son a veces más fáciles de construir. La tabla 6.1 describe algunos valores del ángulo del talud recomendado para diferentes materiales.

Tabla 6.1 - Talud recomendado para canales de sección trapezoidal

Material	Talud ($Z = \cot\Phi$)
Arena	3.00
Arena y greda	2.00
Greda	1.50
Greda y arcilla	1.00
Arcilla	0.58
Concreto	0.58

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

- **Velocidad del agua (v)**

Un flujo de agua excesivamente rápido erosionará las paredes de un canal, mientras que velocidades demasiado bajas permitirán el depósito de sedimento y su obstrucción. La tabla 6.2 proporciona las velocidades recomendadas para canales de diferentes materiales.

Tabla 6.2 - Velocidad máxima recomendada para diferentes tipos de material

Material	Velocidad máxima	
	Menos de 0.3 m de profundidad	Menos de 1.0 m de profundidad
Arena	0.3 m/s	0.5 m/s
Greda arenosa	0.4 m/s	0.7 m/s
Greda	0.5 m/s	0.8 m/s
Greda de arcilla	0.6 m/s	0.9 m/s
Arcilla	0.8 m/s	2.0 m/s
Mampostería	1.5 m/s	2.0 m/s
Concreto	1.5 m/s	2.0 m/s

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

- **Rugosidad (n)**

Cuando el agua pasa por el canal, pierde energía en el proceso de deslizarse por las paredes y el fondo. Mientras más rugoso es el material del canal, hay más pérdidas por fricción y mayor será pendiente o desnivel que se requerirá entre la entrada y la salida del canal. El diseño ideal de un canal se basa en los siguientes principios:

- La velocidad del agua debe ser lo bastante alta como para asegurar que los sólidos en suspensión no se asienten en el fondo del canal o ingresen a la tubería de presión.
- La velocidad del agua en el canal debe ser lo bastante baja como para asegurar que no se erosionen sus paredes laterales. Si esto es imposible, sin entrar en conflicto con el punto anterior, se deberá considerar el uso de un revestimiento más resistente.

- El desnivel en todo el canal debe ser reducido (lo que también implica velocidad mínima del agua). La Tabla 6.3 muestra los valores del coeficiente de rugosidad para distintos materiales. Si se reviste un canal de tierra, la rugosidad del material de revestimiento determinará el grado de pérdida por fricción.
- El canal debe ser duradero y confiable. Asimismo, no solo estar libre de sedimentación sino también protegido de los efectos destructores de escurrimientos causados por las lluvias, rocas que caen en su cauce o derrumbes. También deben protegerse frente a caudales inusualmente elevados en caso de que la estructura de la bocatoma no lo haga adecuadamente. Los caudales de avenida pueden ser regulados mediante estructuras adicionales, denominadas aliviaderos, que deben ubicarse de tal forma que el caudal excedente sea transportado a lugares donde no ocasione daño (quebradas).
- Los costos de construcción y mantenimiento deben ser mínimos. Es necesario evaluar en la zona del proyecto la disponibilidad de los materiales, mano de obra calificada y no calificada, así como la evaluación de costos de fletes y otros que hagan falta.

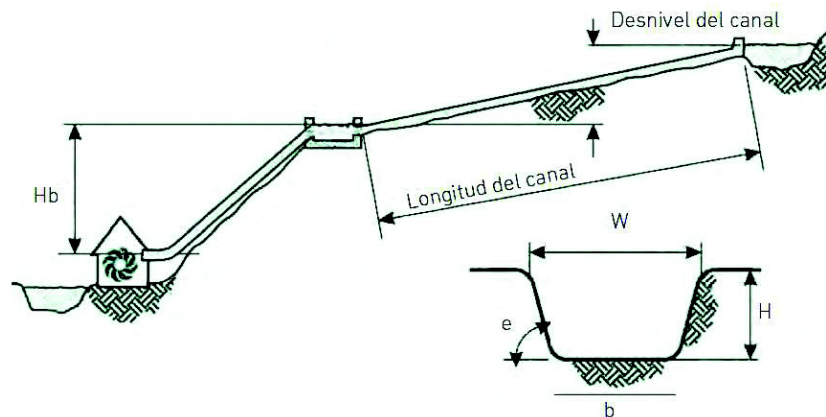


Fig. 6.21 - Dimensiones de un canal y desnivel total

Fuente: Dávila, C. et.al. *"Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas"*, CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

Tabla 6.3 - Coeficientes de rugosidad para el diseño de canales

Canales de tierra	n
Arcilla	0.0130
Material sólido, suave	0.0167
Arena con algo de arcilla o roca partida	0.0200
Fondo de arena y grava, con lados empedrados	0.0213
Grava fina de 10/20/30 mm	0.0222
Grava regular de 20/40/60 mm	0.0250
Grava gruesa de 50/100/150 mm	0.0286
Greda en terrones	0.0333
Revestido con piedras	0.0370
Arena, greda. Grava y hierbas	0.0455
Canales en roca	n
Roca medianamente irregular	0.0370
Roca irregular	0.0455
Roca muy irregular con muchos salientes	0.0588
Mampostería de piedra con cemento	0.0200
Paredes de mampostería con base de arena y grava	0.0213
Canales de concreto	n
Buen acabado con cemento (enlucido)	0.0100
Acabado con yeso o concreto suave con alto contenido de cemento	0.0118
Concreto no enlucido	0.0149
Concreto con superficie suave	0.0161
Revestimiento con concreto irregular	0.0200
Superficies de concreto irregular	0.0200
Canales de madera	n
Tablas cepilladas y bien unidas	0.0111
Tablas sin cepillar	0.0125
Canales viejos de madera	0.0149
Cursos naturales de agua	n
Lecho natural de río con fondo sólido, sin irregularidades	0.0244
Lecho natural de río con hierbas	0.0313
Lecho natural de río con piedras e irregularidades	0.0333
Torrente con piedras irregulares grandes, lecho sedimentado	0.0385
Torrente con piedras gruesas con bastante sedimento	0.0500

Fuente: Dávila, C. et. al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010).

- **Elementos de un canal**

El canal es una obra de arte en que el fluido opera a superficie libre - a diferencia de una tubería en que generalmente la conducción es presurizada - por lo tanto, para su diseño se requiere de un buen trazado levantado por un geomensor especializado en obras hidráulicas y de un cálculo realizado por un especialista en hidráulica.

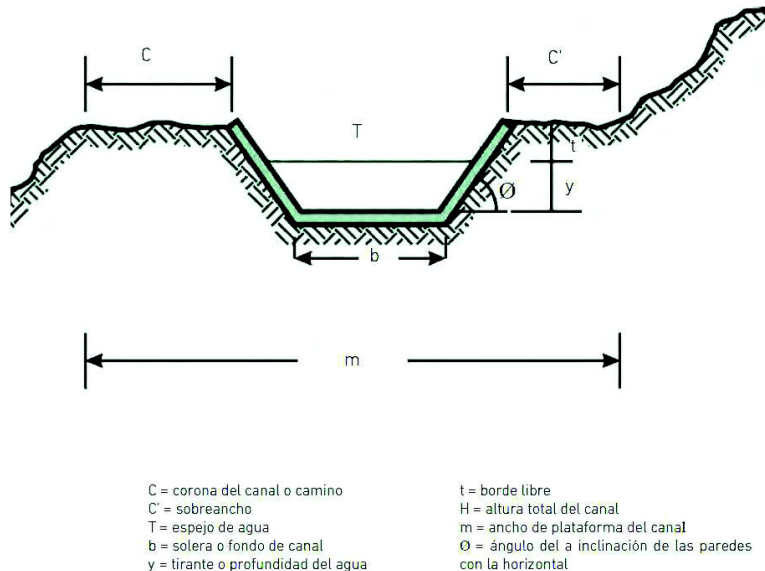


Fig. 6.22 - Vista de una sección transversal de un canal y elementos

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

A continuación presentamos una descripción de los elementos enumerados:

- Camino o corona del canal (C): lugar por donde se desplaza la gente para efectuar las faenas de limpieza del canal. Debe tener el ancho necesario de tal forma que brinde seguridad para realizar las labores de limpieza (se recomienda 0,60 m)

Sobreancho (C'): constituido por el espacio cercano al talud del canal, cumple la función de evitar que rocas y deslizamientos caigan directamente al canal, especialmente en temporada de lluvias

- Espejo de agua (T): longitud superficial del agua, llamado también base mayor del canal

- Solera del canal (b): llamada también fondo o base del canal, es uno de los elementos importantes en el diseño de las dimensiones

- Tirante de agua (y): altura del canal desde el fondo (b) hasta el espejo de agua (T). Al igual que la base o fondo, se constituye en otro elemento importante para el diseño

- Borde libre: distancia vertical que hay entre el nivel normal del agua al extremo superior de la paredes del canal. Su objetivo es evitar que el canal rebose cuando ingrese mayor cantidad de agua que la proyectada, ya que ello podría producir daños en la ladera del cerro sobre la que ha

sido construido. El borde libre es normalmente un tercio del tirante de agua o 0.15 m, escogiéndose cifras mayores por seguridad

- Altura del canal (H): está dado por la suma del tirante (y) y el borde libre (t)
- Ángulo de inclinación (Φ): es el ángulo que las paredes del canal hacen con la horizontal, se presenta en los canales trapezoidales, es importante señalar que el ángulo de 60° representa para un canal trapezoidal la sección de máxima eficiencia hidráulica
- Perímetro mojado (P): longitud en que la sección transversal moja el fondo y paredes del canal, expresa por la siguiente ecuación:

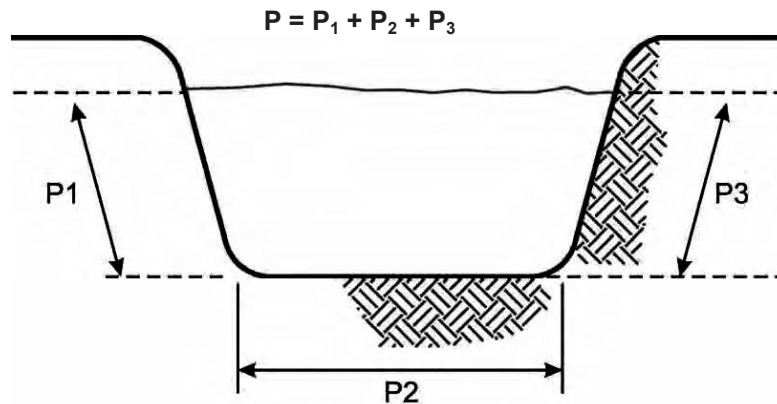


Fig. 6.23 - Perímetro mojado, P

• Radio hidráulico ($R = A/P$): es una cantidad que describe la eficiencia del canal. Si el canal tiene una gran área de sección transversal y un perímetro mojado relativamente pequeño, entonces con un borde libre normal esto implica que es eficiente y que el agua tendrá la velocidad requerida con una pérdida relevante pequeña. El perfil más eficiente es un semicírculo. La sección trapezoidal es la mejor aproximación práctica a este

• Diseño de un canal

El diseño del canal consiste en determinar sus dimensiones hidráulicas y geométricas. Para ello nos apoyamos en la fórmula de Manning, donde la velocidad (V) está en función del radio hidráulico (R), pendiente (s) y rugosidad (n) del material de construcción:

$$v = 1/n * R^{2/3} * s^{1/2}$$

Donde:

V: velocidad (m/s)

n: coeficiente de rugosidad

R: radio hidráulico (A/P)

A: área de la sección transversal

P: perímetro mojado (contacto del agua con el fondo y las paredes)

s: pendiente del fondo del canal

Adicionalmente, se consideran como recomendaciones respecto de velocidades y dimensiones del canal las indicadas en las tablas 6.4 y 6.5

Tabla 6.4 - Velocidades mínimas para evitar sedimentación

Calidad del agua	Velocidad mínima
Con sedimentos finos	0.3 m/s
Con arena	0.5 m/s

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

Tabla 6.5 - Características de las secciones transversales

Tipo de sección transversal	Perímetro mojado (P)	Área transversal (A)
Rectangular	$b + 2y$	$b \cdot y$
Trapezoidal	$b + 2y$	$y(b + yz)$
Triangular	$2y$	y^2z

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

Para el diseño se aconseja seguir el proceso indicado en el diagrama de bloques de la Fig. 6.24 y calcular las dimensiones de acuerdo con el diagrama presentado en la Fig. 6.23, desarrollado para la Fórmula de Manning.

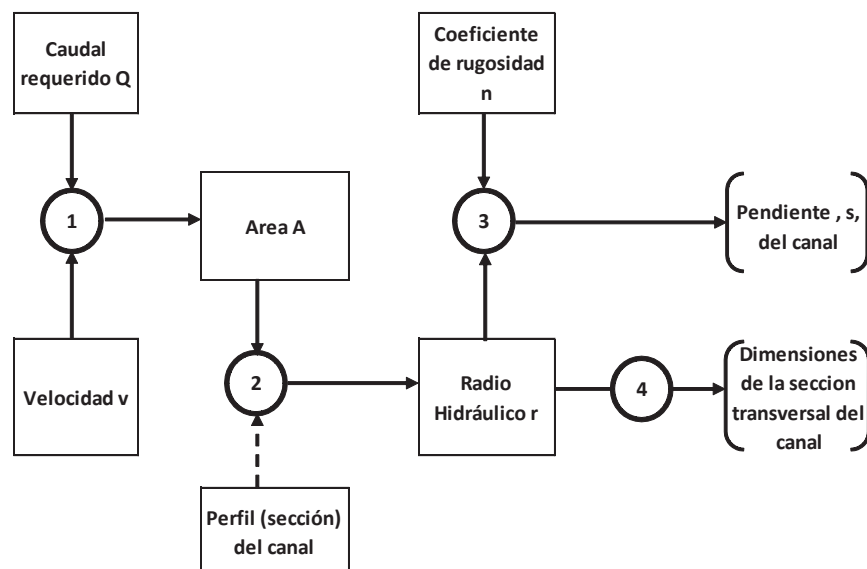


Fig. 6.24 - Esquema de proceso de diseño de un canal

Fuente: Inversin, Allen "Microhydropower Sourcebook : A practical guide to design and implementation in developing countries" NRECA International Foundation (USA) 1986.

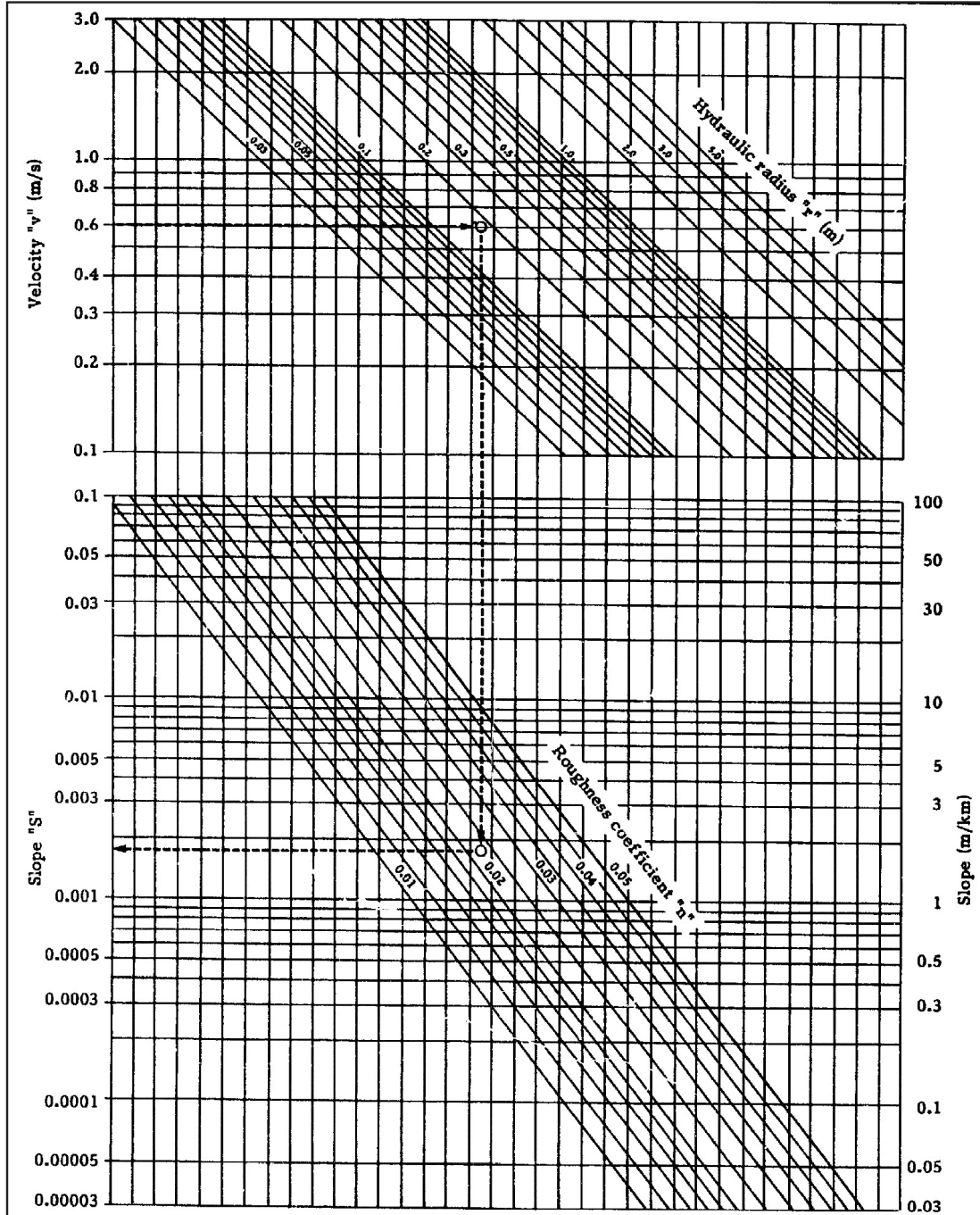


Fig. 6.25 - Solución gráfica de la ecuación de Manning para diseño de canales
Fuente: Inversin, Allen "Microhydropower Sourcebook: A practical guide to design and implementation in developing countries" NRECA International Foundation (USA) 1986.

6.1.5 Conducción entubada a baja presión

Si no es factible de un canal para la conducción, como construcción alternativa debe utilizar un tubo a baja presión para la conexión entre la captación y la cámara de carga.

- **Determinación del diámetro**

El diámetro de la tubería de aducción a baja presión puede ser adoptado para producir una pérdida de carga por fricción en el rango de 0,2 % - 1 % de la altura bruta.

El dimensionamiento de la tubería de baja presión puede ser hecho empleando la fórmula de Hazen - Williams, Manning, Scobey u otra. Preferentemente emplear las ecuaciones y/o diagramas que recomienda el fabricante de la tubería.

Si por ejemplo el dimensionamiento fuera realizado por la fórmula de Manning, cuya expresión es la siguiente:

$$hf/L = 410 (n \cdot v)^2 / D^{4/3}$$

; o bien expresada en terminos del caudal, Q, de la forma siguiente:

$$hf/L = 10 \cdot n^2 \cdot Q^2 / D^{5,3}$$

Donde:

hf: pérdida de carga debida a fricción, en [m]

L: longitud de tubería, en [m]

n: coeficiente de rugosidad (Fig. 6.26), adimensional

v: velocidad media, en [m/s]

D: diámetro interno de tubería, en [m]

La relación entre la velocidad de escurrimiento y el caudal es la siguiente:

$$V = Q/A = 4 \cdot Q / (3,14 \cdot D^2)$$

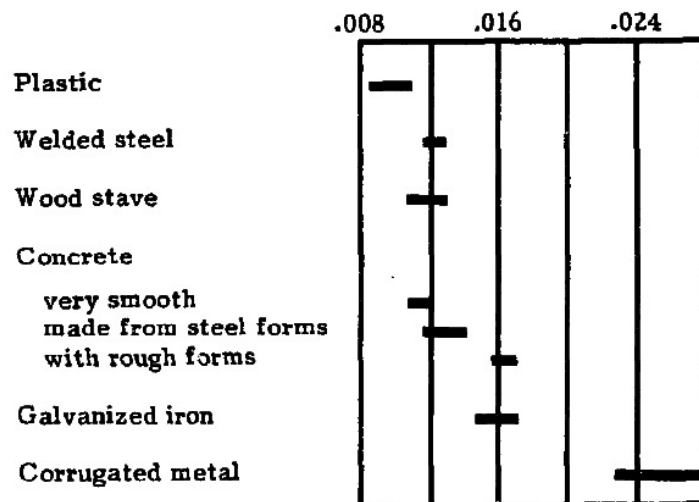


Fig. 6.26 - Coeficientes de rugosidad para la fórmula de Manning

Fuente: Inversin, Allen *"Microhydropower Sourcebook : A practical guide to design and implementation in developing countries"* NRECA International Foundation (USA) 1986.

Aparte de lo anterior el proyectista debe calcular el valor de las perdidas por singularidades que se sumen a el valor anterior, (válvulas, codos, uniones, etc.) el espesor de la tubería y el tubo de venteo que se requiera para evitar colapso por presión negativa y los apoyos (sillas) en el desarrollo completo del ducto, respaldándolo con las memorias de cálculo respectivas.



Fig. 6.27 - Ejemplo de tubería de venteo al inicio de una tubería de salida de una cámara

Fuente : Fotografía Javier Gho

El cálculo de pérdidas se puede hacer analítico pero también gráfico, de acuerdo con el diagrama de la Figura 6.27

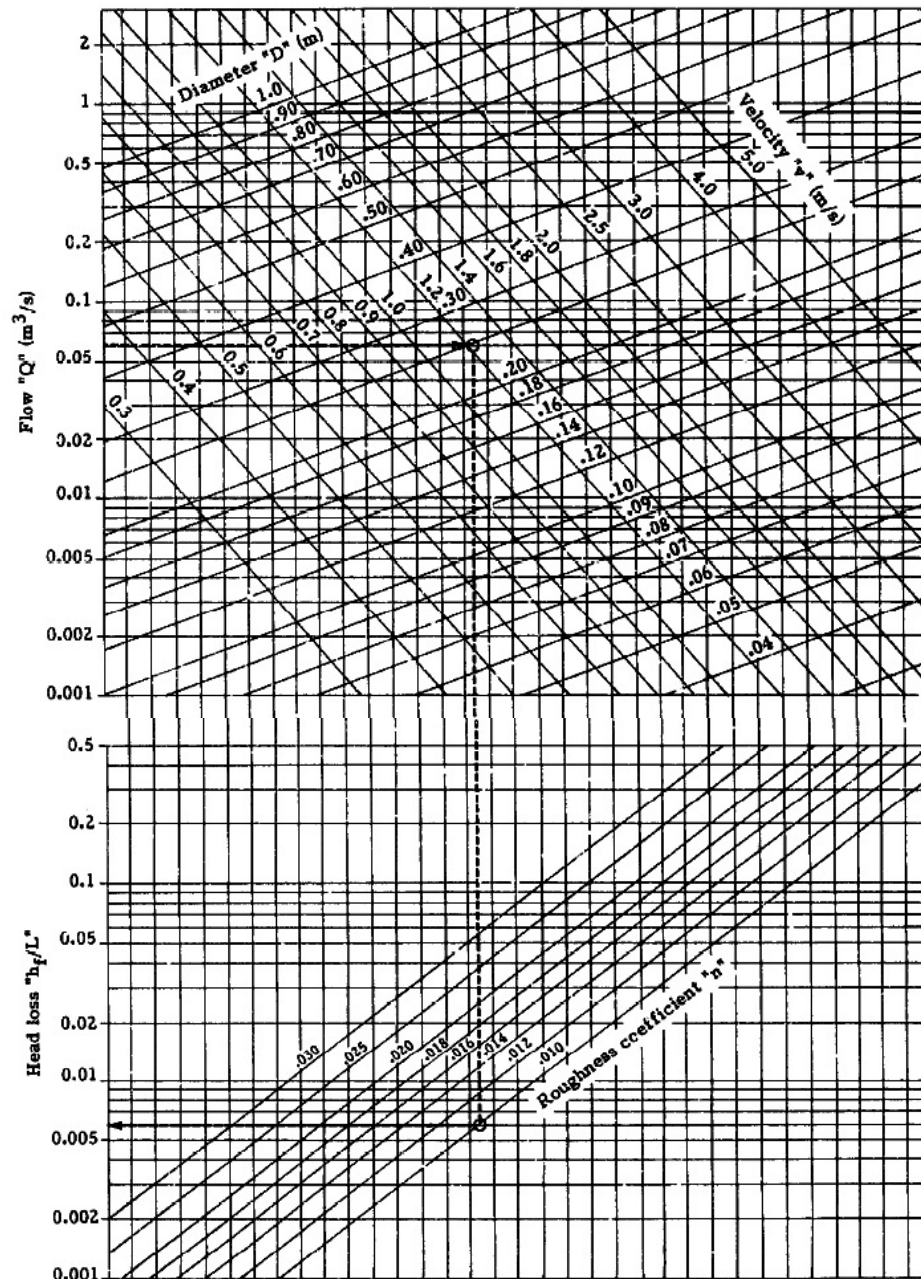


Fig. 6.28 - Solución gráfica de la ecuación de Manning para tuberías
Fuente: Inversin, Allen "Microhydropower Sourcebook : A practical guide to design and implementation in developing countries" NRECA International Foundation (USA) 1986.

6.1.6 Cámara de Carga

La cámara de carga cumple las siguientes funciones:

- Actúa como elemento que controla la diferencia de descarga entre la tubería y el canal debido a las fluctuaciones de la carga
- Remueve suciedad menor que flota en el agua reteniéndola en las rejas finas
- Diseñada para mantener debidamente sumergida la tubería evitando que se produzca entrada de aire

Para que opere adecuadamente, el diseño debe hacerse bajo los siguientes considerandos:

- Una cámara de carga funciona de una manera muy similar a un desarenador ya que el flujo es lento y deposita sedimentos
- La transición al comienzo de la Cámara de Carga y el ancho del mismo es esencial para aquietar la velocidad del flujo
- Los sedimentos pueden depositarse solo si el flujo del agua es lento
- El vertedero de demasías controla flujos altos, crecidas del río y rechazos de carga
- Debe tener una salida o una compuerta de limpieza para eliminar los sedimentos

Las cámaras de carga se aplican a sistemas hidroeléctricos como estructuras de transición entre el canal de aducción y la tubería de presión. Estos tanques tienen limitadas condiciones de regulación, debido fundamentalmente a los caudales que se utilizan en las turbinas, lo que no permite aprovechar el volumen de este tanque para el almacenamiento de agua, aunque es posible que se presenten casos de tanques de carga que trabajen como reguladores horarios, como es el caso de los sistemas que utilizan picoturbinas.

La cámara de carga cumple funciones de amortiguación para evitar sobrepresiones en la conducción forzada, esta última generalmente es de acero soldado, polietileno de alta densidad, hormigón o PVC, y se empalma con la casa de máquinas, desarrollándose en una pendiente. El volumen de agua en el tanque sirve para amortiguar las ondas de presión (golpe de ariete) causadas por el cierre brusco de las turbinas, restableciendo rápidamente la estabilidad.

En caso de mantenimiento o reparación de las turbinas, se desvía el flujo de agua a través de un vertedero de descarga lateral con capacidad para verter el caudal de entrada por el canal de conducción.

Como se indicó, la cámara de carga es necesaria para aquietar el agua y puede tener incorporados elementos para permitir la decantación de arenas y partículas sólidas. En dicho caso, la cámara de carga debe tener las dimensiones adecuadas para cumplir esta función y estará constituida de hormigón o en mampostería de piedra.

Como la reja se localiza debajo de la superficie del agua, la mayor parte de los arrastres (hojas, ramas, etc.) superficiales no son capturados por ésta, por lo que se evacúan directamente por el vertedero.

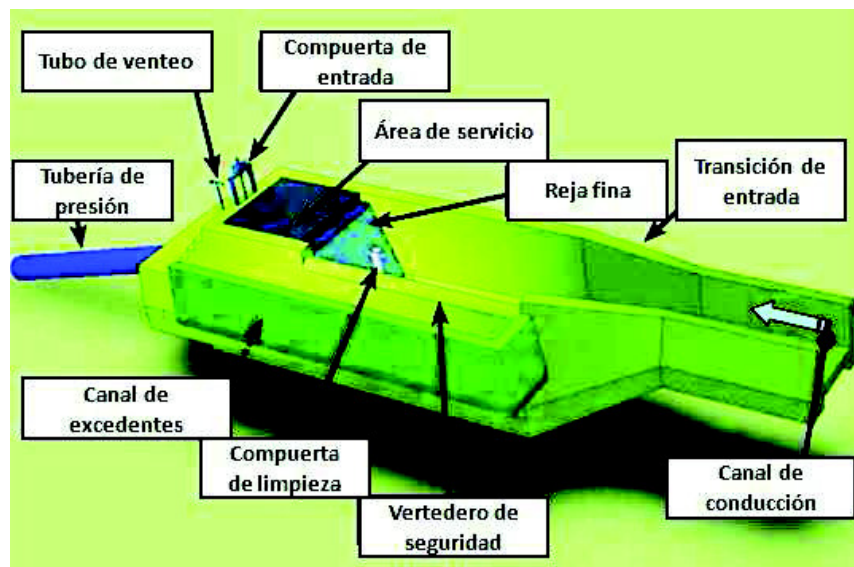
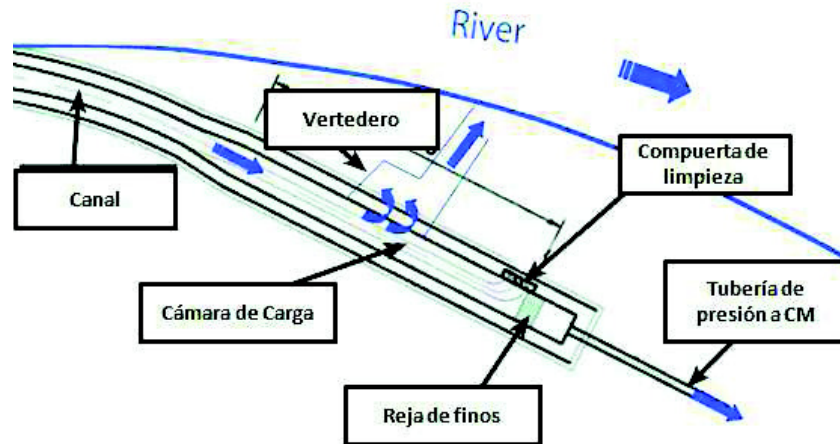


Fig. 6.29 - Esquema de una cámara de carga

Fuente: ASEAN Centre for Energy - GIZ "Good and Bad of mini hydropower" Vol. 1 por Klaus Jorde, et al. ENTEC ASEAN German Mini Hydro Project , Indonesia (2009)

Hay cuatro recomendaciones que deben tenerse en cuenta para la implementación y están relacionadas con que el proyectista debe considerar como recomendación: i) el volumen de la cámara de carga debe tener un tiempo de residencia del flujo del orden de 120 segundos (2 minutos) para asegurar que los sistemas de regulación puedan responder ante variaciones bruscas de caudal; ii) entregar una memoria de cálculo relacionada con el análisis de golpe de ariete; iii) tomar los resguardos necesarios para debida sumergencia de la tubería y; iv) eliminar

si hay problemas de turbulencia como por ejemplo haciendo uso de rejillas antivórtice, como se muestra en la figura siguiente.

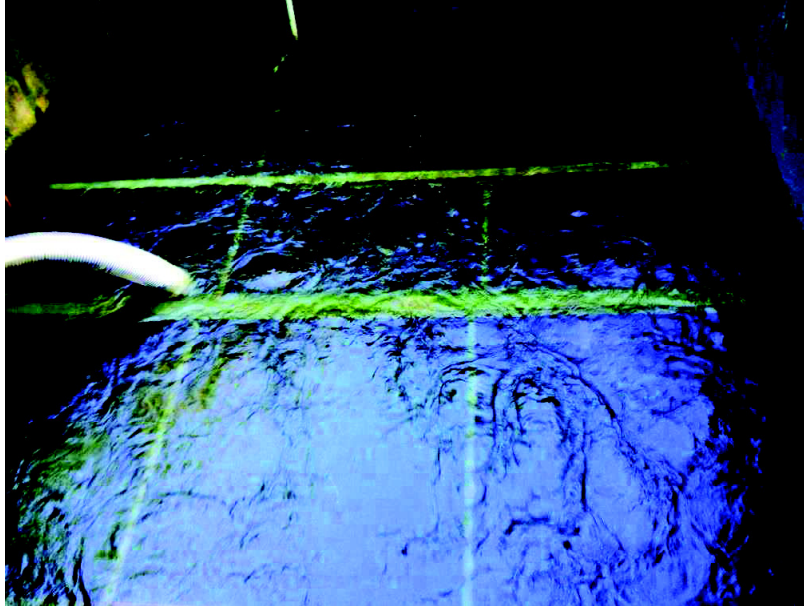


Fig. 6.30 - Cámara de carga turbina axial con rejillas antivórtice

Fuente: Fotografía Ing. Carlos Bonifetti

De acuerdo a la experiencia, es más favorable ubicar la balsa ligeramente debajo de la superficie del agua como se muestra en la imagen de la figura 6.30, ya que así es más eficaz controlar el movimiento de arremolinamiento debajo de la balsa.

6.1.7 Rejas finas

A la salida de la cámara de carga hacia la tubería de presión se instala una reja fina cuya función es evitar el ingreso de elementos no deseados de superficie o semi-sumergida, hacia la turbina. Los principales aspectos del diseño a considerar son los siguientes:

- El ángulo de la rejilla con la horizontal debe estar entre 60 y 80°
- La reja debe estar soportada a las paredes laterales (muros) y al murete inferior de forma que puede ser removida para limpieza
- Construirlos en barras verticales y las horizontales de refuerzo deben estar por detrás para ser limpiadas fácilmente
- La barra debe ser diseñada para resistir la columna de agua con total obstrucción a nivel máximo de aguas y sin agua atrás
- El espacio entre barras debiera ser la mitad del espacio del inyector, por ejemplo para la turbina de Flujo Cruzado T15 es 12 [mm] y para Pelton 0,5 veces el diámetro de la tobera

- La reja debe ser construida en secciones de modo que su peso permita fácil remoción para limpieza, traslado e instalación.
- Sobre la reja debe haber una superficie de fácil acceso para servicio y limpieza

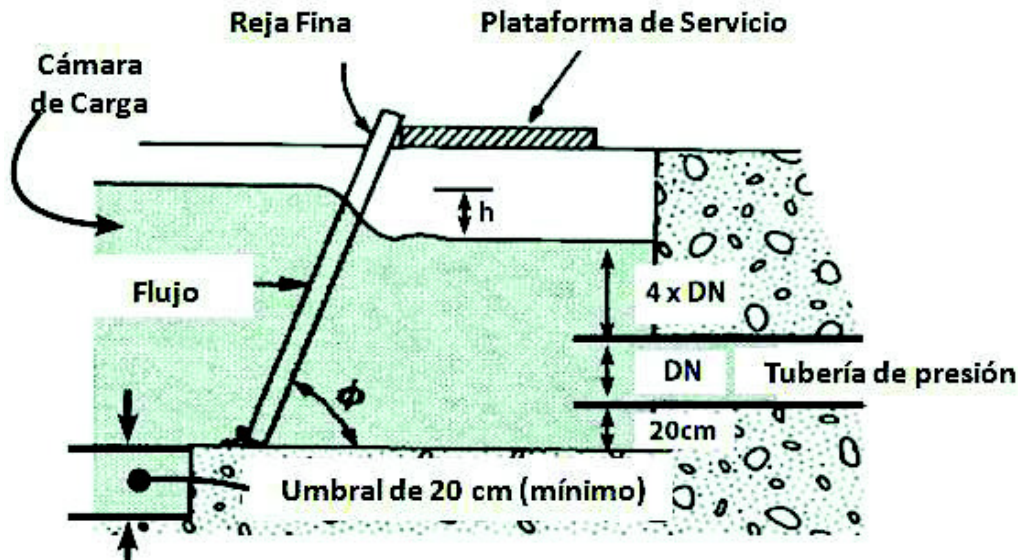


Fig. 6.31 - Esquema de una reja de limpieza

Fuente: ASEAN Centre for Energy - GIZ "Good and Bad of mini hydropower" Vol. 1 por Klaus Jorde, et al. ENTEC ASEAN German Mini Hydro Project , Indonesia (2009)

Se recomienda emplear barras de sección rectangular, ya que además de servir para impedir el ingreso de elementos extraños , muchas veces ayudan a eliminar el momento angular del flujo , suprimiendo la formación de vórtices.

Para el diseño de las rejas se usa generalmente la ecuación siguiente:

$$\Delta J_r = \Phi * (s/b)^{4/3} * (v^2/2g) * \text{sen } \alpha$$

Donde:

ΔJ_r : pérdida de carga de la reja

Φ : coeficiente dependiente de la forma de la barra (ver figura 53)

α : inclinación de la reja con respecto a la horizontal

v : velocidad de aproximación

s : espesor de la barra

b : espacio entre barras

Esta ecuación expresa que las pérdidas de carga se reducen a cero para una reja horizontal. Sin embargo, pruebas realizadas por Yeh y Shrestha en pantallas de alambre soldadas mostraron que las pérdidas de carga alcanzan un valor mínimo en inclinaciones de aproximadamente 30° con respecto a la horizontal. La presencia de la reja produce una contracción de la vena líquida, por lo que se reduce el caudal que la atraviesa, por lo tanto la sección "s" de reja necesaria será:

$$S = Q/(\mu * v)$$

Donde:

μ : coeficiente de contracción dependiente de la forma de la barra (ver figura 6.32)

v : velocidad de aproximación (m/s)

s : sección necesaria (m²)

Q : caudal necesario (m³/s)

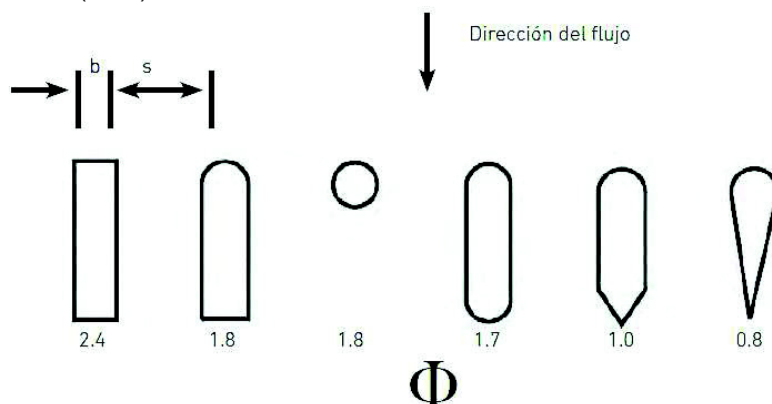


Fig. 6.32 - Coeficiente dependiente de la forma de la barra

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

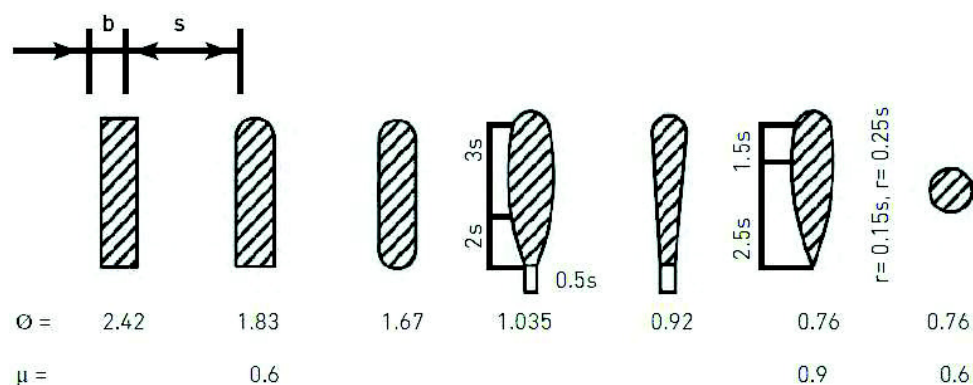


Fig. 6.33 - Coeficiente de contracción, μ , dependiente de la forma de la barra

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010)

Se puede quitar la reja y extraer los residuos (dos rejillas utilizadas juntas aseguran que una esté siempre en su lugar) o emplear un rastrillo hecho especialmente para esta tarea. Los dientes del rastrillo deben estar lo suficientemente espaciados como para pasar por el espacio entre las barras y el mango debe ser lo bastante largo como para permitir el rastrillaje completo de las rejillas. La mejor forma de colocarlas es en un ángulo entre 60° y 80° con respecto a la

horizontal, a fin de lograr un buen rastrillaje, pero también para permitir que la gravedad y el movimiento los mantengan limpios.

En la figura 6.30, se muestra un diseño simple que incorpora todos los componentes básicos que requiere una cámara de carga. En lugar de una válvula a la salida de la cámara de carga, se coloca un codo de PVC a 90° que puede girar libremente en la entrada de la tubería. Se puede interrumpir el caudal simplemente haciendo pivotar el extremo oscilante de la tubería y dejándola fuera del agua.

Como se muestra en la figura, el desagüe se usa principalmente para drenar la cámara y, según su tamaño y posición, se puede usar para limpiar cualquier sedimento; de otra manera, este sedimento tendrá que ser removido por medio de una pala. Además, se puede cubrir la cámara porque es pequeña. Esto impide que caigan residuos dentro y, lo que es más importante, reduce posibilidades de accidentes.

El área total por la que entra el flujo debe ser bastante grande como para mantener la caída de presión dentro de límites aceptables, aún si estuviera parcialmente obstruida.

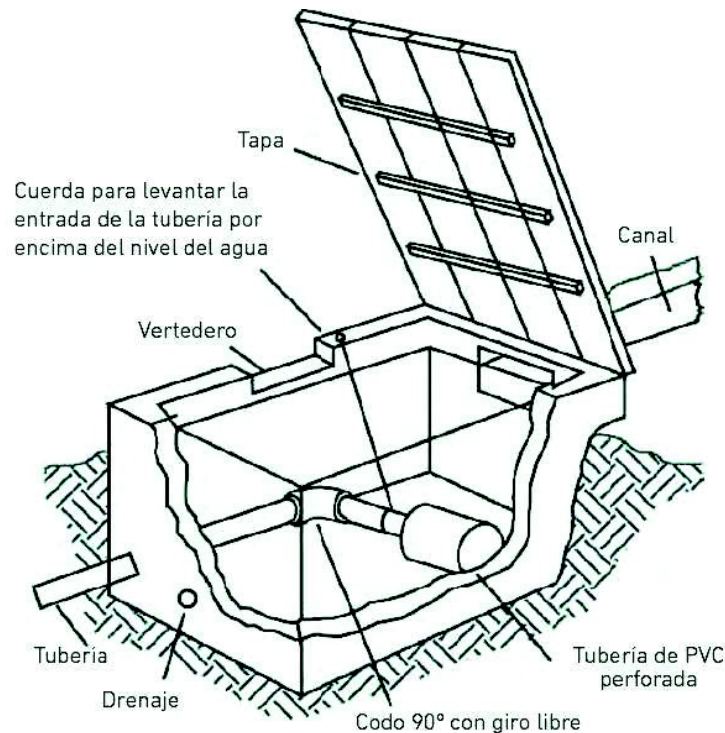


Fig. 6.34 - Diseño simple de una cámara de carga para una pico o microturbina que incorpora todos los elementos básicos.

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010). Adaptado de Inversin, Allen "Micro-hydropower Sourcebook : A practical Guide to Design and Implementation in Developing Countries " NRECA (USA) 1996.



Fig. 6.35 - Diseño adecuado de una reja de limpieza en una cámara de carga
 Fuente: ASEAN Centre for Energy - GIZ "Good and Bad of mini hydropower" Vol. 1
 por Klaus Jorde, et al. ENTEC ASEAN German Mini Hydro Project, Indonesia (2009)

6.1.8 Tubería de Presión

La tubería de presión es la encargada de transportar el agua a presión desde la cámara de carga hasta la turbina. La selección, diseño e instalación de una tubería de presión debe realizarse bajo las mismas pautas, normas y criterios que se aplican a cualquier tubería de presión por lo que en este punto el criterio para la selección del material, cálculo de espesor, anclajes, etc.

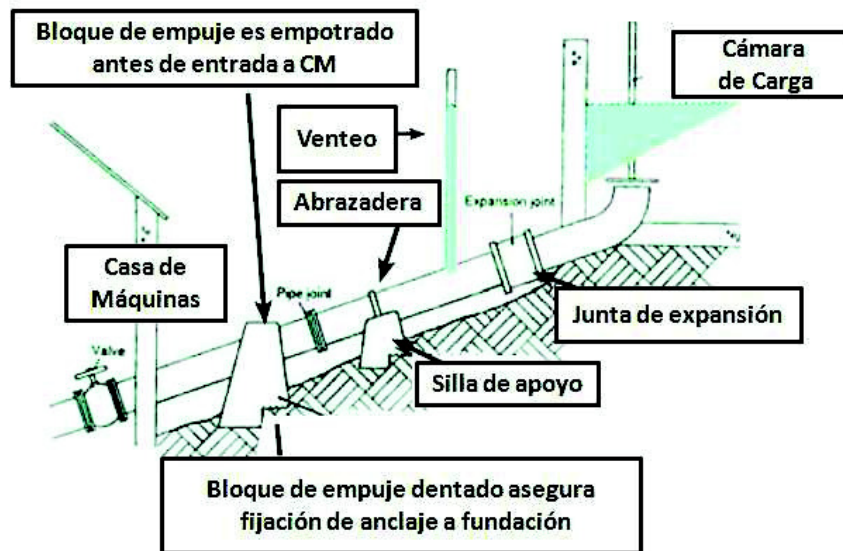


Fig. 6.36 - Elementos principales en la instalación de una tubería de presión

Fuente: ASEAN Centre for Energy - GIZ "Good and Bad of mini hydropower" Vol. 1
por Klaus Jorde, et al. ENTEC ASEAN German Mini Hydro Project, Indonesia (2009)

Como buenas prácticas de instalaciones estas deben tener ser ejecutadas considerando lo siguiente:

- Emplear bloques en cada cambio de dirección (horizontal o vertical) de la tubería
- Apoyar cada tramo de tubería con bloques
- Fijar la tubería a los bloques con abrazaderas de fijación
- Asegurar que los bloques estén bien fundados de acuerdo al material del suelo, fuerzas y pendiente
- Antes de entrada a Casa de Máquinas (CM) contrarrestar los esfuerzos en la tubería con un bloque de empuje
- Tubería debe estar a 20 cm del fondo y la sumergencia debe ser de cuatro (4) unas veces el diámetro de la tubería, como mínimo.

Las tuberías de presión (TP) pueden instalarse sobre o bajo el terreno, según sea la naturaleza de este, el material utilizado para la tubería, la temperatura ambiental y las exigencias medioambientales del entorno. Por ejemplo, una tubería de pequeño diámetro en PVC se puede instalar extendiéndola simplemente sobre el terreno y siguiendo su pendiente, con un mínimo movimiento de tierras. En cambio, las grandes tuberías en acero deberán enterrarse siempre que el terreno no sea muy rocoso, y en ocasiones, aun cuando lo sea, si los requisitos medioambientales del entorno lo exigen. La arena y la grava que rodean una tubería enterrada

constituyen un buen aislante, lo que permitirá eliminar un buen número de juntas de dilatación y de bloques de anclaje.

Para enterrar una tubería, previamente hay que pintarla y protegerla por su exterior mediante una cinta enrollada que garantice su resistencia a la corrosión. Si se hace así y la cinta no sufre daños durante el montaje, la tubería no necesitará ningún mantenimiento ulterior. Desde el punto de vista medioambiental esta solución es óptima, ya que el terreno puede ser restituido a su condición inicial y la tubería, invisible al ojo humano, no constituirá barrera alguna al desplazamiento de los animales.

Instalada sobre el terreno, la tubería estará expuesta a variaciones de temperatura importantes y movimientos de contracción y dilatación en modo alguno despreciables.

Las tuberías forzadas en acero se conciben como una serie de tramos rectos, simplemente apoyados en unos pilares y anclados sólidamente en cada una de sus extremidades, que en general coinciden con cambios de dirección. Entre cada dos anclajes consecutivos se intercala una junta de dilatación (ver figura 6.32a).

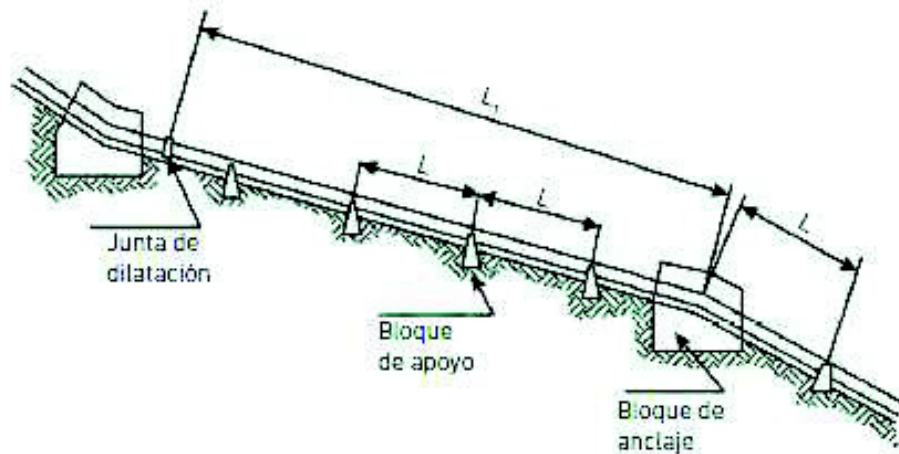


Fig. 6.37 - Bloques de anclaje y apoyo

Fuente: Dávila, C. et.al. "Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas", CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010).

Los anillos de soporte se diseñan basándose en el comportamiento elástico de los cilindros de débil espesor. La pared del tubo debe resistir las tensiones combinadas correspondientes a su trabajo como viga y como recipiente cilíndrico sometido a presión interna. El momento de flexión será el correspondiente a una viga continua. Las reacciones sobre los apoyos, propias de una viga continua, se transmiten por esfuerzo cortante, entre chapa y anillo. Para ello los anillos se sueldan a la chapa con soldaduras continuas en rincón y se rigidizan mediante diafragmas (ver figura 6.32b).

Una tubería forzada se caracteriza por el material empleado en su construcción, diámetro y espesor de pared, y el tipo de unión previsto para su instalación:

- El material se escoge de acuerdo a las condiciones del mercado, teniendo presente su peso, volumen, sistema de unión y costo

- El diámetro se escoge para que las pérdidas por fricción se mantengan dentro de límites razonables
- El espesor de pared se calcula para resistir la máxima presión hidráulica interna incluyendo, cuando sea previsible, el golpe de ariete y eventualmente los esfuerzos inherentes a su trabajo como viga

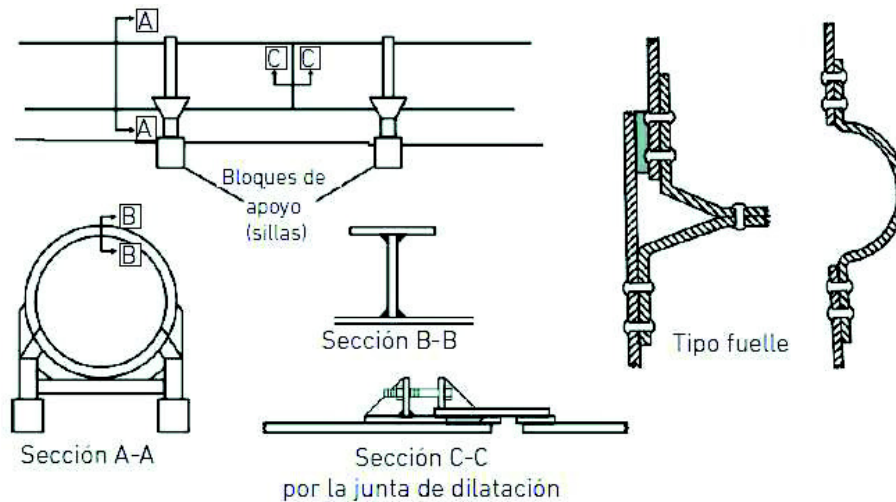


Fig. 6.38 - Anillos de soporte para sujeción de tuberías

Fuente: Dávila, et. al. *"Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas"*, CEDECAP -Soluciones Prácticas, Perú (2010).

Pero para una selección completa en un emplazamiento específico se deben incluir también los siguientes factores:

- Facilidad de manejo y accesibilidad al lugar
- Disponibilidad local de la tubería
- Exigencias de mantenimiento y vida útil estimada
- Naturaleza del terreno donde se instalará
- Efectos sobre el tubo de la calidad de agua, clima, suelo y posible aplastamiento

i) Material de la Tubería Forzada (Penstock)

En la actualidad, los principales materiales de tuberías para una tubería de carga son de acero, hierro dúctil y FRPM (plástico reforzado con fibra Multi-Unit). En el caso de una planta de energía hidroeléctrica a pequeña escala, el uso de cloruro de vinilo duro, tubo en espiral soldado (Howell), puede considerarse a causa del pequeño diámetro, y relativamente, a la baja presión interna.

Tabla 6.6 - Materiales de Tubería Penstock para centrales hidroeléctricas a pequeña escala.

	Tubería en base a resina sintética			Tubería de Acero		
	PVC	Tubería espiral soldada	Tubería FRP	Tubería de Acero	Tubería de hierro dúctil	Tubería con soldadura en espiral
Características	-Material más popular para abastecimiento de agua y líneas de drenaje. - Efectivo en tuberías para pequeño caudales. -Cuenta con alta variedad para tuberías irregulares ya hechas. -A menudo enterrados debido a su débil resistencia a impacto y su alto coeficiente de expansión lineal.	-Resistente básicamente a presiones externas, pero ya hay las que resisten a presiones internas. -Relativamente fácil fabricación de tuberías irregulares, dada su fácil soldadura. Principalmente usada como tubería enterrada.	- Tubo plástico reforzado por fibra de vidrio, Se conoce como Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) por sus siglas en ingles. - Se utiliza como tubería expuesta y puede ser más ligero que tubería FPRPM, con una pared más delgada, que no estará sujeta a cargas externas como nieve.	-Preferidas para tubería Penstock en mini-centrales hidroeléctricas -Material confiable dada su establecida técnica de diseño.	-Se utiliza a menudo para el abastecimiento de agua, drenaje, riego y tuberías industriales. -Generalmente utilizada como tubería enterrada, aunque también puede quedar expuesta al exterior. - Alta resistencia a presiones internas como externas.	Generalmente usada como tubería enterrada, oculta la línea de la soldadura en espiral. -Se puede utilizar como pilas de tuberías de acero.
Máximo Diámetro del tubo	Tubería gruesa: Ø 300 Tubería fina: Ø 800	Ø 2.000	Ø 3.000	Ø 3.000 aprox.	Ø 2.600	Ø 2.500
Presión interna permitida (kgf / cm²)	Tubería gruesa: 10 bar Tubería fina: 6 bar	2.0 – 3.0	Class A: 22.5	133	aprox. 40	15
Propiedad hidráulica	0.009 – 0.010	0.010 – 0.011	0.010 – 0.012 (aprox. 0.011 en general)	0.010 – 0.014 (aprox. 0.012 en general)	0.011 – 0.015 (aprox. 0.012 en general)	—
Manejo para instalación	Fácil de diseñar y trabajar dado su peso ligero y la existencia de gran variedad de tuberías irregulares.	Buena manejabilidad dado su peso ligero	Buena manejabilidad dado su peso ligero y que no necesita de un sitio para su soldadura, ya que utiliza como tubería de conexión, un anillo de goma especialmente creado.	De inferior manejabilidad que tubería FRP	De inferior manejabilidad que tubería FRP	De inferior manejabilidad que tubería FRP
Estanqueidad del agua	Buena estanqueidad del agua, que es posible de haber en cada unión de conexión.	No hay problema de estancamiento de agua en las uniones de articulación.	Buena estanqueidad, según el método de conexión establecido por las uniones de articulación.	Buena estanqueidad, según el método de conexión establecido por las uniones de articulación.	Buena	No hay problema

Fuente: Department of Energy - Energy Utilization Management Bureau "Manuals and Guidelines for Micro-hydropower Development in Rural Electrification" JICA Volume I, Filipinas, June (2009)

ii) Cálculo de las Pérdidas de Carga en tubería de presión

Las pérdidas de carga para la tubería de presión se pueden calcular con las mismas ecuaciones y gráfica (figura 6.24) presentada anteriormente para las de baja presión; igualmente válido es el que los cálculos correspondientes a singularidades que se sumen al valor anterior, (válvulas, codos, uniones, etc.), espesor de la tubería, diámetro del tubo de venteo que se requiera para evitar colapso por presión negativa y los apoyos (sillas) en el desarrollo completo del ducto, respaldándolos con las memorias de cálculo respectivas.



Fig. 6.39 - Tubería de presión en acero instalada en sobre el terreno en ladera con soportes equidistantes (sillas).

Fuente: ASEAN Centre for Energy - GIZ "Good and Bad of mini hydropower" Vol. 1 por Klaus Jorde, et al. ENTEC ASEAN German Mini Hydro Project, Indonesia (2009)

iii) Cálculo de Golpe de Ariete (Método de Allievi)

La presión estática normal de la tubería forzada experimenta golpe de ariete cuando hay cambios bruscos de flujo, cierres o aperturas rápidas, parciales o totales, provocadas por la válvula de cierre de la turbina.

Estas variaciones de presión, positivas (sobrepresión) o negativas (depresión), según ocurra que el flujo de la turbina disminuya o aumente en forma repentina, son las que determinan el espesor del tubo.

El **método de Allievi** recomienda que el espesor de la tubería no se calcule con la presión estática (altura bruta) sino con una presión mayor expresada por

$$H_s = (Z^2 - 1) \cdot H_b$$

donde,

H_s : Sobrepresión o depresión, en [m], cuyo límite máximo es $0,35 \cdot H_b$

H_b : Altura bruta, en [m]
 Z^2 : Parámetro obtenido de los gráficos de Allievi para sobrepresión o depresión en función de los parámetros ρ y θ , los que se calculan por las siguientes fórmulas:

$$\rho = v_p \cdot V / (2 \cdot g \cdot H_b) \quad \text{y} \quad \theta = v_p \cdot t / (2 \cdot L)$$

donde,

v_p : Velocidad de la onda de presión [m/s]
 V : Velocidad del flujo [m/s]
 g : Aceleración de gravedad = 9,81 [m/s²]
 H_b : Altura bruta, en [m]
 t : Tiempo de cierre de la válvula de admisión de la Turbina [s]. Si no hay información se usa $t = 6$ para tuberías cortas ($L \leq 3 \cdot H_b$) ó $t = 10$ para tuberías largas ($L > 3 \cdot H_b$)
 L : Longitud de la tubería [m]

La velocidad de la onda de presión se calcula con la siguiente fórmula:

$$v_p = 9900 / \sqrt{(48,3 + K \cdot D_i / e)}$$

donde,

D_i : Diámetro interno del conducto, en [mm]
 e : Espesor del conducto, en [mm]
 K : Coeficiente que depende del material del tubo. Ver Tabla 6.8.

Los gráficos de las figuras 6.40 y 6.41 entregan el valor de Z^2 para los casos de sobrepresión y depresión, respectivamente.

Tabla 6.8 - Valores de K para diferentes materiales de tubería

Material de Tubería	K
Acero	0,50
Fierro fundido	1,00
Madera	10,00
Concreto	5,00

Fuente: Eletrobras, "Diretrizes para projetos de PCH" (2000)

Finalmente, el espesor del tubo se calculará utilizando la presión total, que será la hidrostática más la sobrepresión debida al golpe de ariete:

$$P_t = P_i + H_s$$

donde,

P_t : Presión total interna máxima, en [kgf/cm²]
 P_h : Presión hidrostática debida a la altura bruta, en [kgf/cm²]
 H_s : Sobrepresión o depresión, en [kgf/cm²]

Nota: 1 [m] de columna de agua equivale a 0,1 [kgf/cm²]

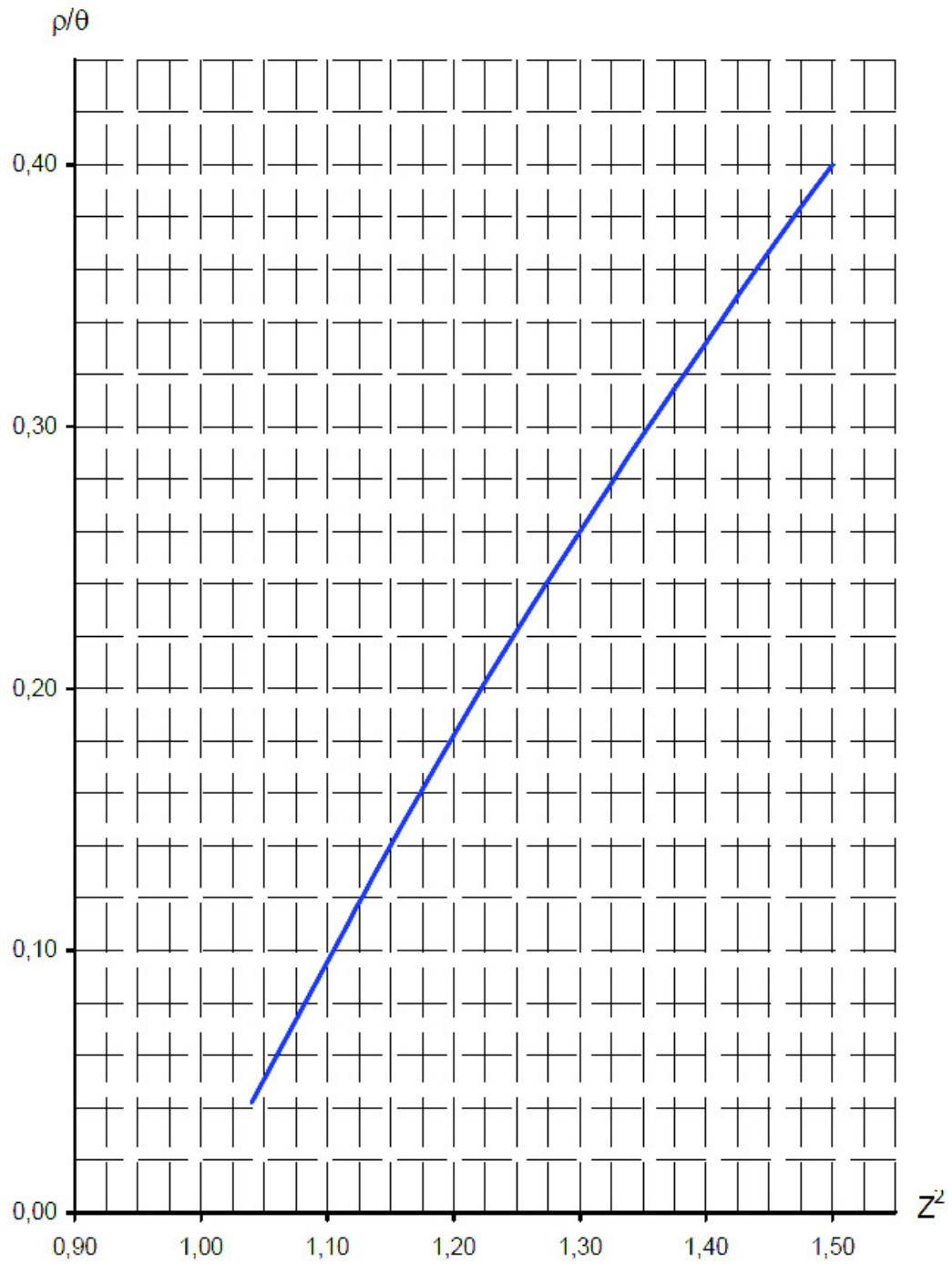


Fig. 6.40 - Gráfica de Z^2 en función de ρ/θ para sobrepresión
Fuente: Eletrobras " Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidroelétricas, 2000

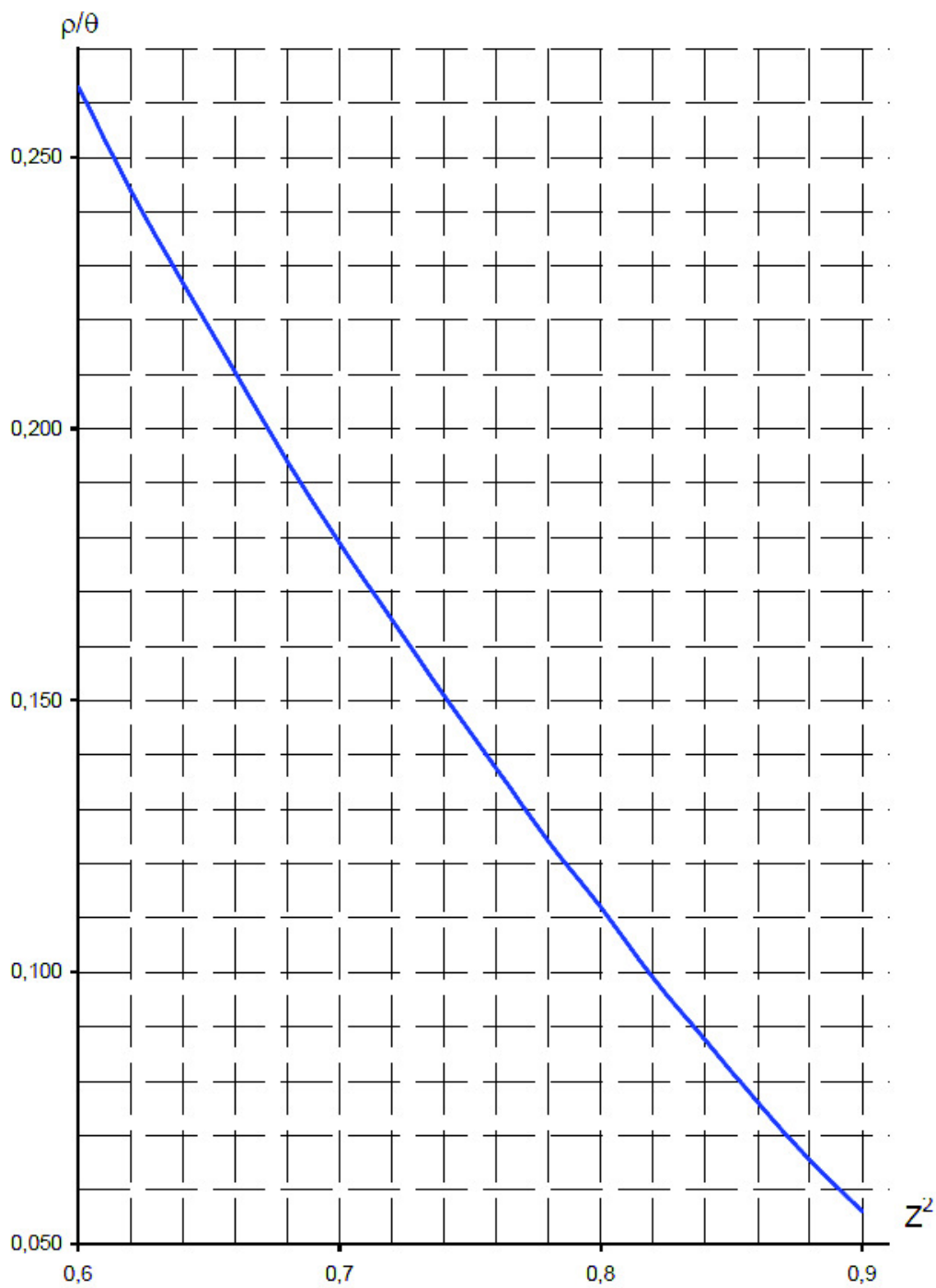


Fig. 6.41 - Gráfica de Z^2 en función de ρ/θ para depresión
Fuente: Eletrobras " Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidreletricas, 2000

El material más utilizado en la tubería de carga es el acero. En este caso se puede utilizar la siguiente fórmula para calcular el espesor del tubo:

$$e = P_t \cdot D_i / (2 \cdot \sigma_a \cdot \eta) + \delta$$

donde,

- e: Espesor mínimo de la pared del tubo, en [cm]
- P_t : Presión total, es decir, hidrostática más la debida al golpe de ariete, en [kgf/cm²]
- D_i : Diámetro interno de la tubería, en [cm]
- σ_a : Tensión máxima soportada por el material, en [kgf/cm²]. En acero SS400 es de 1.300 [kgf/cm²].
- η : Eficiencia de la soldadura (0,85 a 0,90)
- δ : Margen de seguridad (normalmente 0,15 cm)

Nota: 1 [m] de columna de agua equivale a 0,1 [kgf/cm²]

Finalmente, toda tubería presurizada en la entrada a la Casa de Máquinas, debe contar con manómetro. La función del manómetro es indicar el valor de la condición de presión en cada momento de la operación y sirve para evidenciar la presencia de obstrucciones o bolsas de aire y para obtener la caída bruta - columna llena con válvula cerrada - o bien neta, cuanto entra en régimen de operación.

El manómetro - preferiblemente con glicerina - debe estar instalando con una copla HI ϕ 1/2", buje-reducción y con llave de bola ϕ 1/2" en su parte inferior como se muestra en la figura siguiente

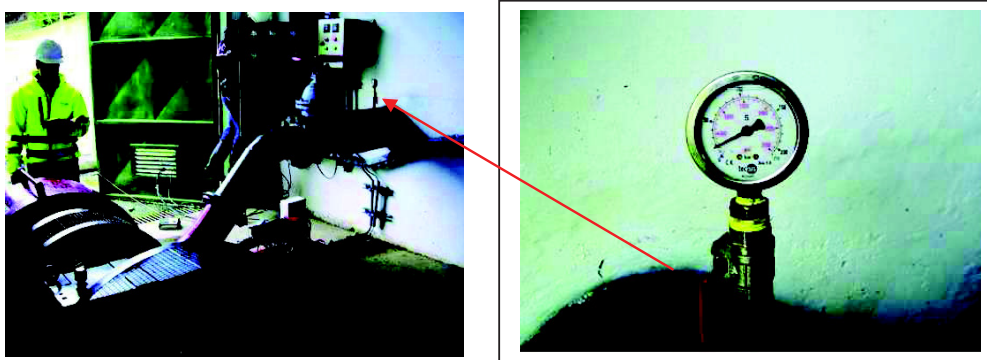


Figura 6.42 - Localización de manómetro en Tubería de Presión

Fuente: Fotografía Javier Gho

6.1.9 Casa de Máquinas

La casa de máquinas protege el equipamiento electromecánico de las adversidades climatológicas. El número, tipo y potencia de las turbinas, su disposición con respecto al canal de descarga, la altura de salto y la geomorfología del sitio, condicionan el tamaño y forma de la construcción.

Para PCH las casas de máquinas pueden ser construidas en madera o bien en albañilería.

En el diseño debe considerarse espacio suficiente de circulación en el perímetro de la turbina tanto para acceso como para realizar labores de mantenimiento. Las dimensiones recomendadas tienen relación con el tamaño de la turbina pero los espacios libres alrededor de la máquina y tableros no debe ser inferior a 1,20 m. Las pérdidas en los generadores se transforman en calor por lo que deberán considerarse las celosías y ventilaciones en la parte baja y alta para permitir el enfriamiento por circulación de aire, por ejemplo para una turbina con una generador de 100 kW que tiene un rendimiento de 97% significa que los 3 kW (3.000 W) a plena carga se disipan como calor, lo que aumenta la temperatura en el interior de la Casa de Máquinas.

La casa de máquinas puede ser hecha con materiales locales pero como protege una inversión importante debe ser segura y estar bien construida, en las figura 6.36 se presentan casas de máquinas sencillas y bien construidas en hormigón y en la imagen inferior se muestra el emplazamiento sobre el nivel de crecida, donde la restitución está con una caída pequeña y no erosiona la ribera del río.



Fig. 6.44- Ejemplo de Casa de Máquinas construida en madera con puerta de plancha de acero; vista frontal y posterior. Instalada en Valle El Frío, Comuna de Cochamó, Región de Los Lagos

Fuente: Fotografía Javier Gho

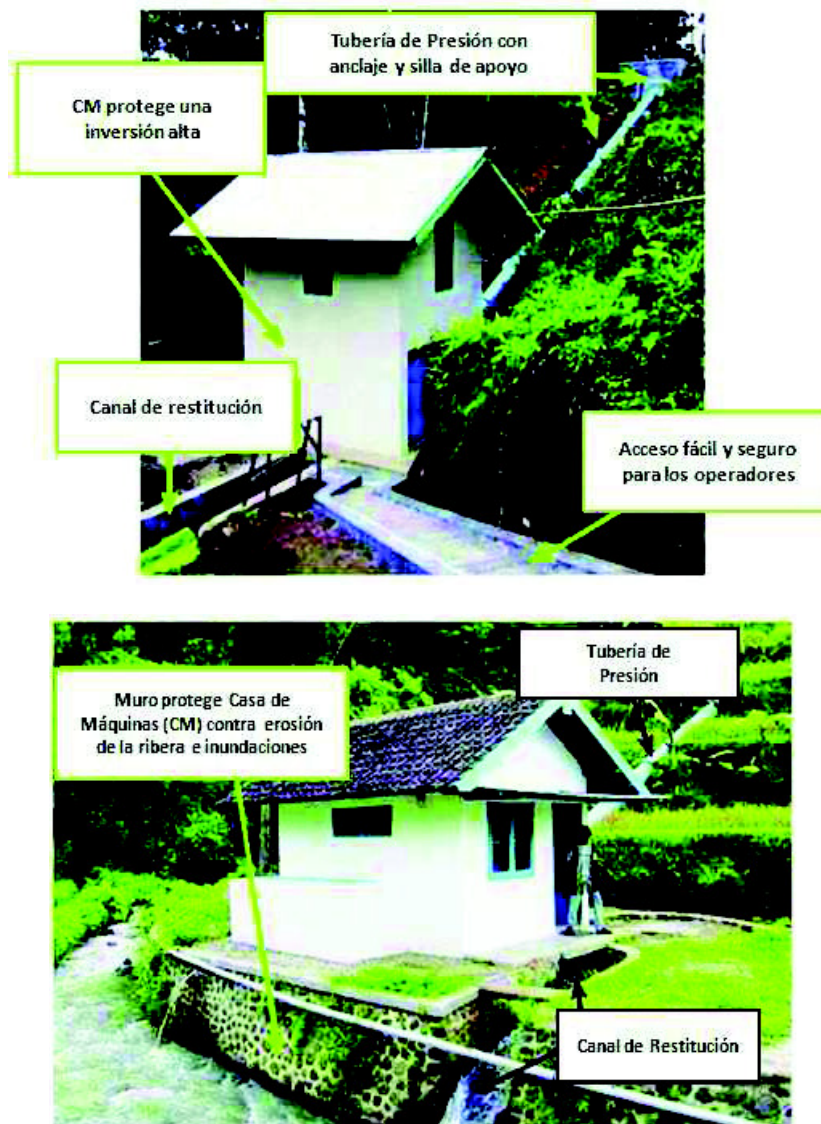


Fig. 6.43 - Ejemplos de emplazamientos de Casas de Máquinas en material sólido
Fuente: ASEAN Centre for Energy - GIZ "Good and Bad of mini hydropower" Vol. 1
por Klaus Jorde, et al. ENTEC ASEAN German Mini Hydro Project , Indonesia (2009)

6.2 Tablero eléctrico de control, medición y protección

De acuerdo a las EETT se consultarán tableros eléctricos con las siguientes características.

6.2.1 Especificaciones Generales

Constituido por gabinetes con puertas de acceso con burletes; grado de protección IP 44. El esquema de protección anticorrosiva y esmalte de terminación será adecuado para ambiente

marino. El tablero eléctrico 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. Los conductores serán con aislamiento tipo THW para temperatura de 75°C.

Los instrumentos de medida serán del tipo empotrado, protección IEC IP54 y precisión 1,5 según VDE 0410, a escala total, con ajuste exterior de 0. La alimentación de diseño será 220 V y 50 Hz.

Se consultarán indicadores luminosos para señalar las posiciones de los dispositivos de control y monitoreo, los que deberán encenderse cada vez que haya discordancia entre la posición del conmutador de mando y la del equipo o dispositivo comandado.

Las fallas se señalarán asimismo mediante indicadores luminosos. Adicionalmente se consultará un dispositivo de alarma sonora montado en la cubierta superior del gabinete, de accionamiento enclavado con las señalizaciones de falla.

- **Equipamiento**

El tablero contará con un panel para alojar los siguientes dispositivos e instrumentos - medición analógica y/o digital (especificar) - para las funciones específicas indicadas:

- Amperímetros (1 por fase)
- Horómetro
- Voltímetros (1 por fase)
- Frecuencímetro
- Medición potencia activa
- Medición potencia reactiva
- Medición de demanda máxima
- Medición energía activa
- Medición de factor de potencia

En la figura 6.37 se presenta un ejemplo de tablero con las funciones anteriores.

- **Señalización**

Se proveerá un panel de señalización con diodos de luz de indicación de estado de operación de los relés.

- **Protección**

La protección se efectuará por medio de relés de protección para las siguientes funciones:

- Tensión mínima;
- Intensidad máxima;
- Sub-frecuencia;
- Sobre-frecuencia;

- **Transformadores y seccionamiento**

Se especificarán transformadores de corriente (precisión y relación de transformación para sistemas de medición; relés; etc.).

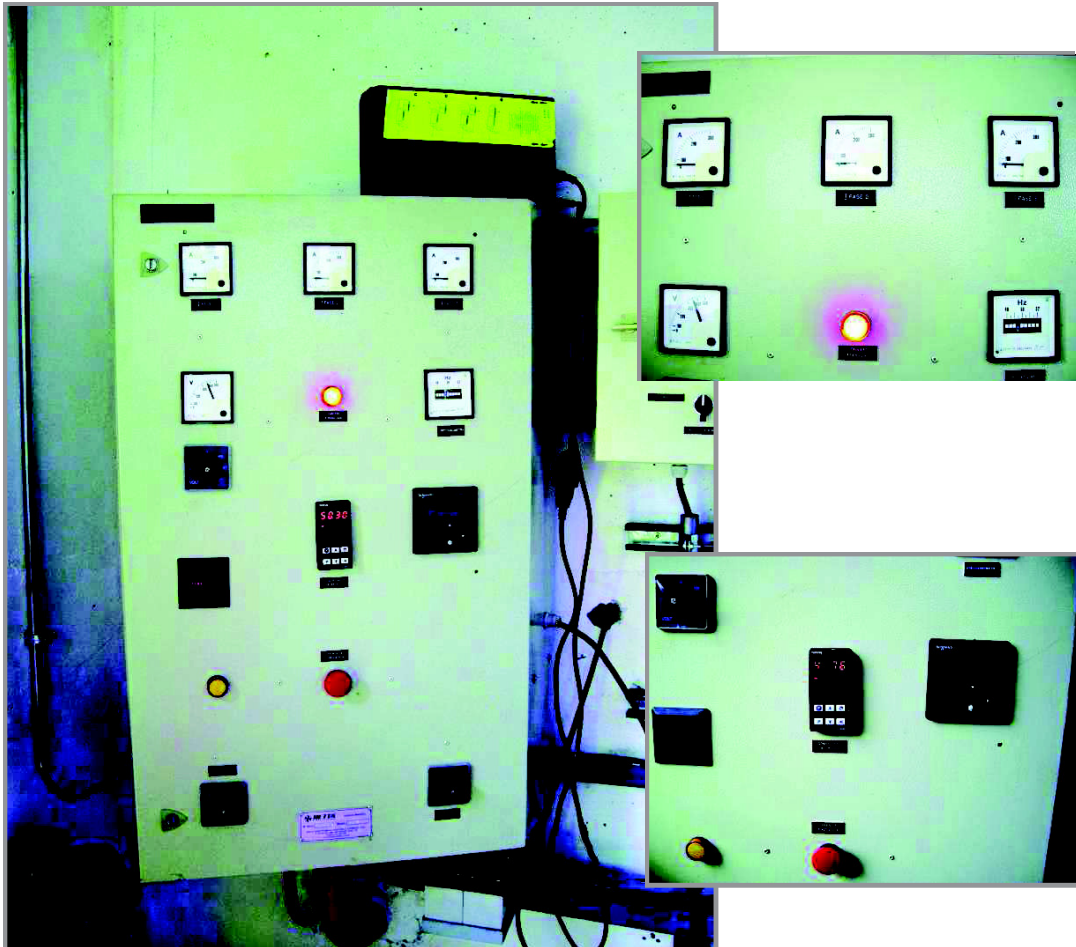


Fig. 6.45 - Ejemplo de tablero eléctrico de control, medición y control (Amperímetro y Voltímetro por fase; Frecuencímetro, Horómetro, Parada Manual, Medidor de Energía)
Fuente: Betta Hidroturbinas (Brasil)

6.2.2 Regulación de las microturbinas

En microcentrales la mayor parte de los fabricantes emplean para regulación automática de la frecuencia de la tensión generada, los siguientes métodos:

a) sistema de regulación de frecuencia por variación de caudal; y

b) Sistema de regulación de frecuencia por carga balasto.

a) Regulador por variación de caudal

En el método de variación de caudal, la regulación de frecuencia es obtenida variando la cantidad de agua turbinada, a través de un servomecanismo que controla la apertura/cierre del elemento regulador de caudal, como está indicado en el esquema presentado en la figura siguiente.. De esta forma, se modifica la velocidad de rotación del generador, teniendo efecto sobre la frecuencia de la tensión generada. El servomecanismo mencionado, está constituido por un motor eléctrico que es controlado por una tensión proporcional a la frecuencia de la tensión generada y un valor de referencia de esta frecuencia (valor deseado de la misma).

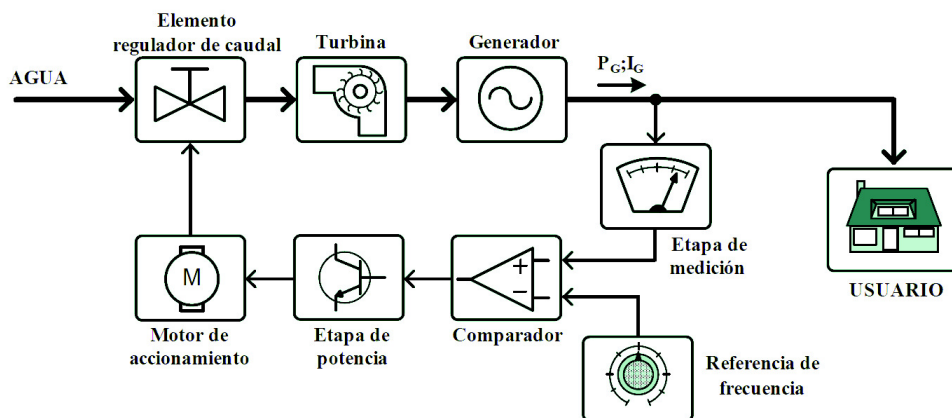


Fig. 6.46 - Esquema simplificado de regulación por variación de caudal

Fuente: Fernández ,G. A. ; J. C. Kairiyama ; F. Botterón y V. H. Kurtz "Control de carga balasto por periodos de conducción aplicado a la regulación de frecuencia de la tensión generada en micro y pico centrales hidroeléctricas". Avances en Energías Renovables y Medio ambiente Vol. 14 (2010) pp. 06-01 a 06-08

La máxima velocidad de apertura/cierre que puede alcanzar el elemento regulador de caudal, es dependiente de las condiciones hidrodinámicas del aprovechamiento. En micro y pico centrales hidroeléctricas, esta velocidad generalmente es baja, con respecto a la variación de carga que pueda sufrir el generador. Además, las pequeñas masas inerciales que poseen estas instalaciones, provoca la sensibilidad de la velocidad de rotación del generador a los cambios del par resistente, impuesto por la carga eléctrica aplicada. En consecuencia, cuando es utilizado el método de variación de caudal la velocidad de respuesta en este sistema dificulta la regulación de la frecuencia de la tensión generada por estas pequeñas centrales.

Este sistema de regulación tiene problemas de velocidad de respuesta como la regulación por variación de caudal por lo que requiere un almacenamiento mínimo de agua para turbinar.

b) Regulador electrónico con carga lastre

La regulación de frecuencia a través de este método consiste en someter al generador a un estado de carga aproximadamente constante, sin manipular el caudal turbinado. Para esto, el generador debe alimentar al consumo y a una carga resistiva, denominada carga balasto. En la figura se presenta, la carga balasto en paralelo a la carga del usuario, de esta forma se trata de mantener constante la potencia generada (P_G) variando la potencia disipada en la carga balasto (P_B), según cambie la potencia utilizada por el usuario (P_C). La potencia P_B es controlada por la frecuencia de la tensión generada, que depende del valor de P_C . La frecuencia de la tensión generada es comparada permanentemente con un valor de referencia, de esta forma si la frecuencia generada es mayor que la de referencia, el sistema de regulación deriva más energía a la carga balasto. Igualmente, si la frecuencia generada es menor a la de referencia, el sistema deriva menos energía a la carga balasto.

Este sistema de regulación no posee problemas de velocidad de respuesta como la regulación por variación de caudal, pero reduce el almacenamiento de agua para turbinar.

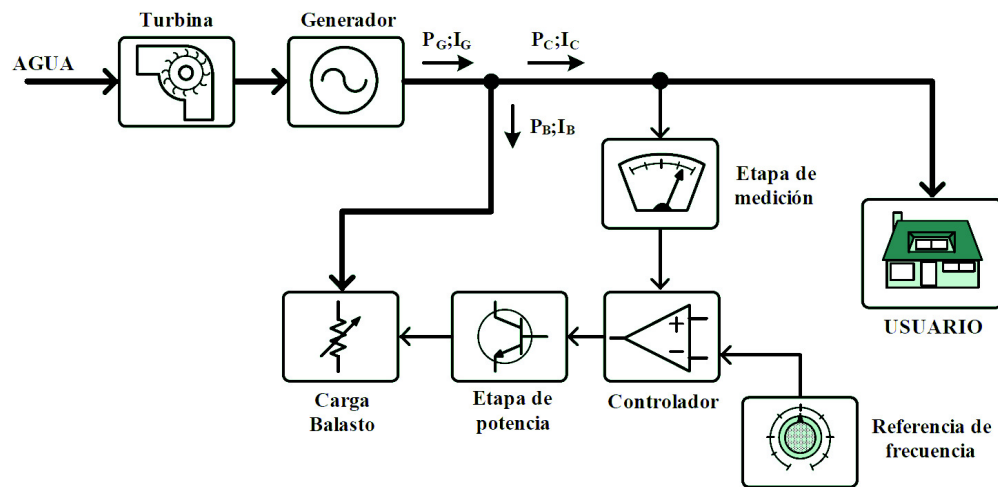


Fig. 6.47 - Esquema simplificado de regulación por carga lastre (balasto)

Fuente: Fernández, G. A. ; J. C. Kairiyama ; F. Botterón y V. H. Kurtz "Control de carga balasto por periodos de conducción aplicado a la regulación de frecuencia de la tensión generada en micro y pico centrales hidroeléctricas" Avances en Energías Renovables y Medio ambiente Vol. 14 (2010) pp. 06-01 a 06-08

La carga balasto puede ser enfriada por agua o por aire y en ambos casos deben seguirse las instrucciones del fabricante para la localización de las resistencias, dimensionar y localizar la ventilación de la casa de máquinas de acuerdo a las instrucciones que este indique. En algunos casos, las resistencias enfriadas por agua van en un estanque al interior de la casa de máquinas y en otros están - bajo el piso - sumergidas en una cámara el canal de restitución por lo que el proveedor debe entregar un plano con las indicaciones para el diseño.

Se recomienda preferiblemente siempre optar por este sistema de regulación frente a opciones de control por variación del caudal ya que al tener rápidos tiempos de respuesta ante variaciones de carga se reducen los volúmenes de obras civiles - y por ende el costo - al requerir menos almacenamiento de agua en cámara de carga.

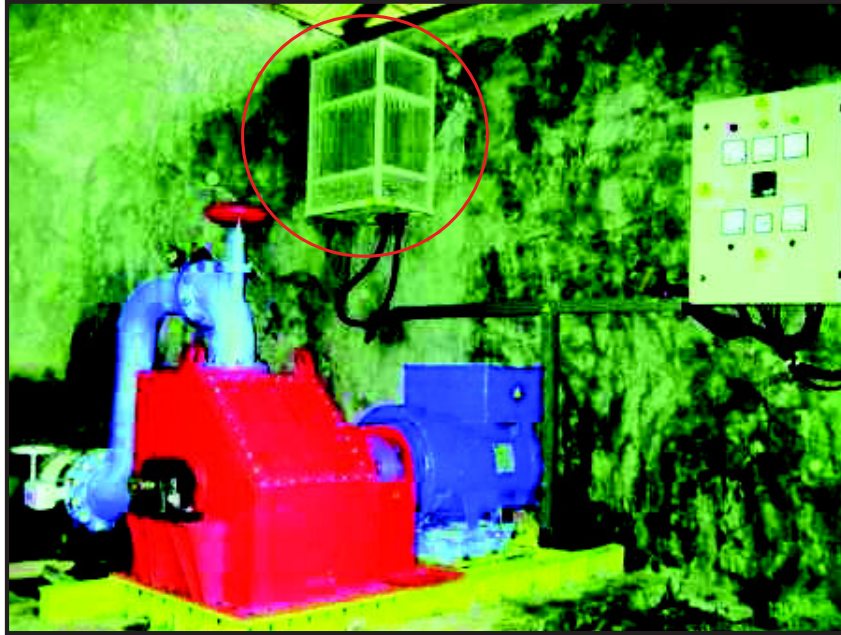


Figura 6.48 - Instalación tipo de control electrónico de carga con carga lastre (o balasto) de disipación al aire, instalada en el muro.

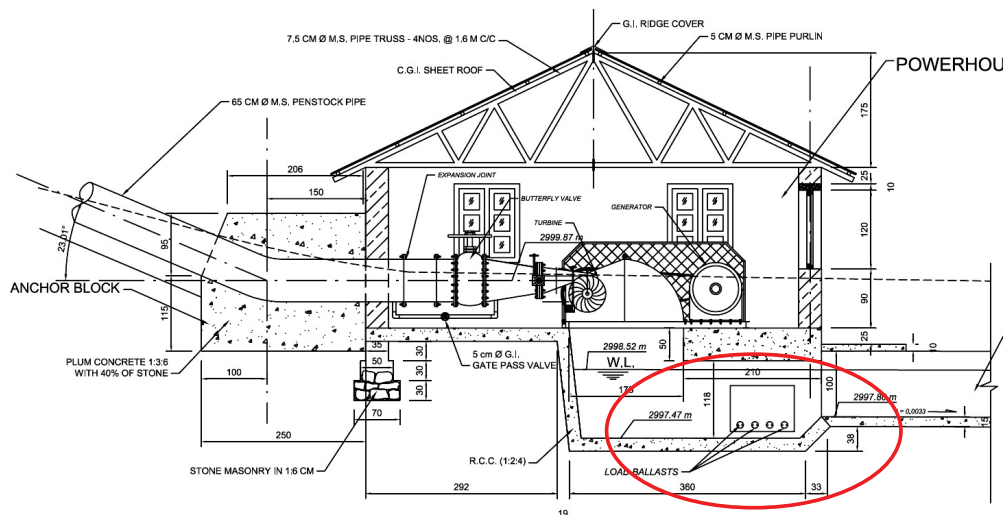


Fig. 6.49 - Ejemplo de un diseño de turbina Michell Banki con carga balasto enfriada por agua

Fuente: Asian Development Bank " *Yakawlang Micro Hydropower Project*" Technoical Feasibility /Design Report por Shankar Lal Vaidya y Deepak Das Tamrakar, Manila, Filipinas. Marzo (2004).

Un aspecto importante es que en toda instalación realizada en la Casa de Máquinas, todas las partes móviles deberán estar debidamente protegidas con rejas para evitar que puedan accidentar a alguna persona.

Asimismo, especial énfasis debe hacerse en la capacitación instruyendo a los operadores para que no usen las casa de máquinas como bodegas de almacenamiento ya que ello es una de las principales causales de accidentes al impedir el libre tránsito de las personas alrededor de la máquina y los controles.

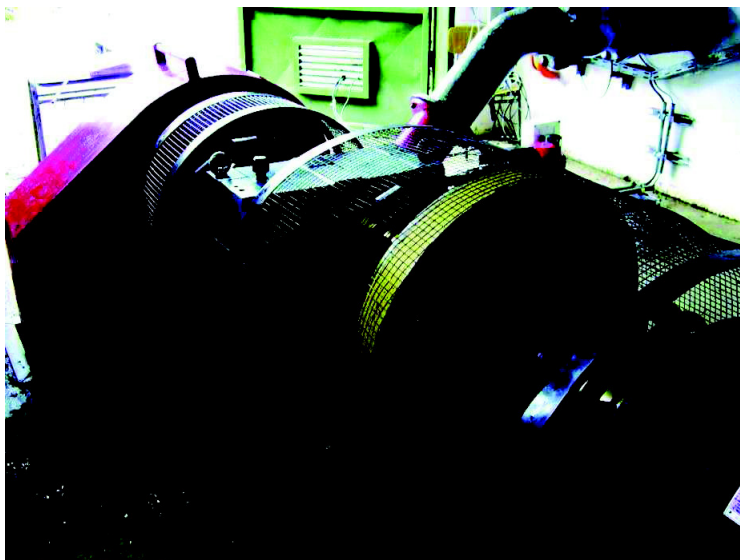


Fig. 6.50 - Turbina hidráulica con adecuadas rejas de protección en partes móviles
Fuente: Fotografía Javier Gho



Fig. 6.51 - Ejemplo de Casa de Máquinas iluminada, ventilada, limpia y ordenada para permitir circulación y servicios sin riesgos para las personas.
Fuente: Fotografía Javier Gho

6.2.3 Malla de Puesta a Tierra

En una instalación podrá existir una puesta a tierra de servicio y una puesta a tierra de protección. La "tierra de servicio" es la puesta a tierra de un punto de la alimentación, en particular el neutro del empalme en caso de instalaciones conectadas en BT o el neutro del transformador que alimente la instalación en caso de empalmes en media o alta tensión, alimentados con transformadores monofásicos o trifásicos con su secundario conectado en estrella.

Por "tierra de protección" se entiende a la puesta a tierra de toda pieza conductora que no forma parte del circuito activo, pero que en condiciones de falla puede quedar energizada. Su finalidad es proteger a las personas contra tensiones de contacto peligrosas; es un seguro para gente y máquinas por lo que debe hacer una buena conexión entre cables y varilla. Su instalación debe estar al lado de la Casa de Máquinas a nivel de fundación; deberá evaluarse en caso de que la Casa de Máquinas sea construida en hormigón si la malla estructural se puede conectar a la de tierra.

Todos los componentes deben estar conectados a tierra, es decir tanto el equipamiento mecánico (turbina) como los tableros y comandos eléctricos. La conexión será usada para medir la resistencia y verificar si está en buen estado por lo que debe tener una cámara registro protegida (con acceso).

La malla de puesta a tierra de acuerdo a norma debe ser como máximo 20 [ohm]. Si ello es mayor puede deberse ya sea a un mal dimensionamiento de la malla o bien a cambios en la resistividad del terreno.

Para su diseño e instalación se recomienda seguir recomendaciones del "*Manual de Mallas de Tierra*" de ProCobre : (http://procobre.org/es/download_category/sistemas-electricos-ie/), bajo los requerimientos de la construcción de la malla de tierra deberán seguirse las indicaciones de la Norma Chilena 4/2003 en el punto 10.- Puestas a Tierra (Pags. 78 - 83).

La responsabilidad por el correcto diseño y construcción de una puesta a tierra corresponderá al proyectista y/o instalador a cargo del montaje de la instalación. El mantenimiento de las características de operación de la puesta a tierra será de responsabilidad del usuario de la instalación, así como también serán de su exclusiva responsabilidad los daños a personas, y daños o fallas de funcionamiento de la instalación o equipos, que sean atribuibles a un deterioro o ausencia de la puesta a tierra. (Norma Chilena 4/2003, Inciso 10.4.4)

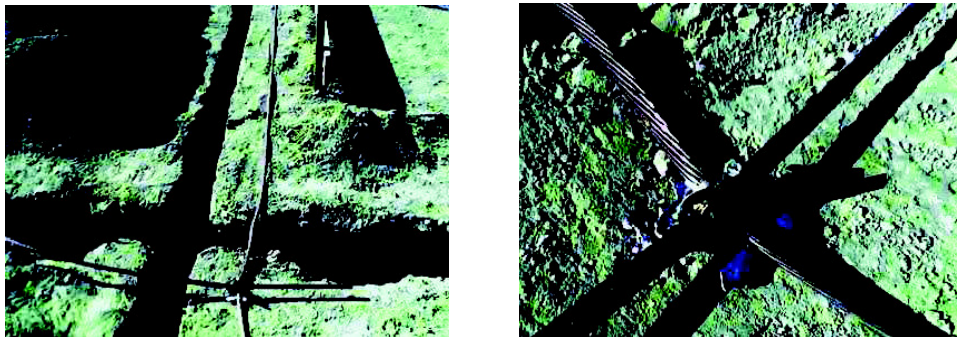


Fig. 6.52 - Muestra de zanjado y conexiones en malla de tierra

7.0 DIMENSIONADO DE LA MICROCENTRAL Y DETERMINACION DE SUPERFICIE DE RIEGO AFECTA.

Para el dimensionado se la instalación las indicaciones no reemplazan la necesidad de contar para los cálculos con la información de caudales y crecidas que realice un hidrólogo con experiencia y/o un especialista en energía.

7.1 Ecuaciones básicas

La potencia, P [kW], se calculará de la forma siguiente:

$$P = H_n * Q * g * \eta_{Total} \quad [kW]$$

P: potencia de salida , kW

Q: caudal nominal de diseño, m³/s

g : aceleración de gravedad = 9,81 [m/s²]

η_{Total} : rendimiento global $\eta_{turbina} * \eta_{generador} * \eta_{transformador}$

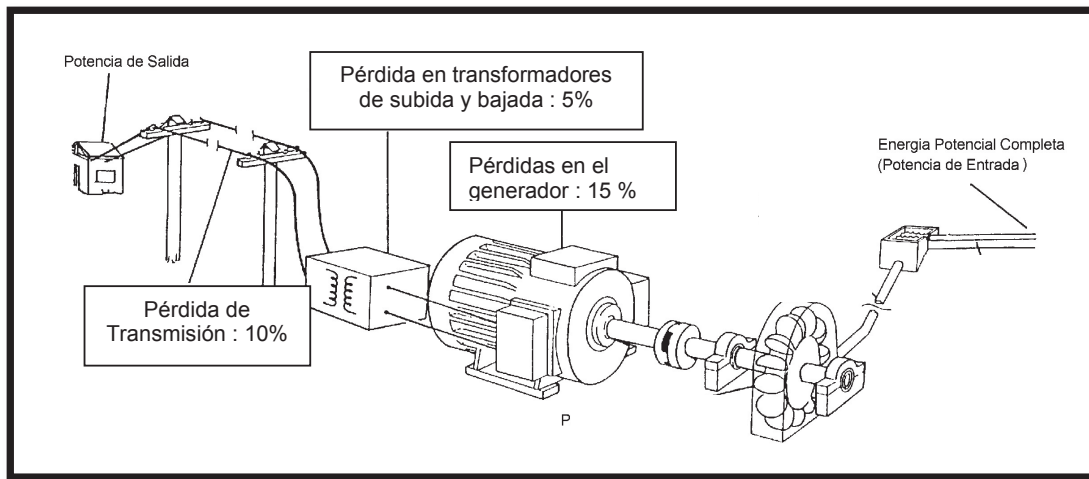


Fig. 7.1 - Rendimientos en los componentes de una microcentral operando a plena carga y rendimientos considerados

La energía se calculará de la forma siguiente:

$$E = H_n * Q * g * \eta_{Total} * t \quad [kWh]$$

Siendo:

E : generación de electricidad en un periodo "t" horas (kWh, MWh, GWh)

Como una bomba es una turbomáquina que realiza trabajo sobre el fluido solo se diferencia de la turbina en que el fluido realiza trabajo sobre la máquina es que en la literatura de fluidos existe una expresión derivada de las ecuaciones anteriores que es muy empleada y es la siguiente:

$$E = V [m^3] * H [m] / 367 = 2,73 * 10^{-3} * V [m^3] * H [m]$$

La expresión anterior significa que "si se almacena 1 m³ de agua en un embalse a 367 m de altura y lo empleo para generar la energía producida es de 1 kWh", o bien "para elevar 1 m³ de agua a 367 m requiero 1 kWh", lo anterior en condiciones ideales (sin roce) o sea a 100 % de eficiencia.

Tabla 7.1 - Expresiones para determinar potencia y/o energía requerida por una bomba y producida por una turbina

Para calcular	Bomba	Turbina	Unidades
Potencia [kW] :	$q * H / (367 * e)$	$q * H * e / 367$	$q [m^3/h]; h [m];$
Energía [kWh] :	$V * H / (367 * e)$	$V * H * e / 367$	$e \%/100; V [m^3]$

Fuente: Elaboración propia

7.2 Estimación de la Demanda de Energía (Riego)

Se estimará en base al mes de mayor demanda y dependiendo del sistema de riego se considerarán las siguientes eficiencias:

Tendido:	30 %
Surcos:	45 %
Riego por surcos:	60 %
Riego por goteo:	90 %
Riego por microaspersión:	85 %
Riego por aspersión:	80 %

En consecuencia, si se tiene la demanda en [mm/día] el valor diario del mes se promediará y se multiplicará por 30 para obtener la demanda en [mm /mes] y luego por 10 para obtener el requerimiento en [m³/ha]; por ejemplo, si la demanda diaria en el mes de máxima (enero) resulta de 8 [mm/día] - Lámina Neta Máxima corregida (incluye eficiencia del sistema de riego por goteo, 90%) - entonces la demanda promedio por hectárea será de 2.400 [m³/mes] que corresponde al producto de 8 * 30 *10.

Ahora bien, para obtener el valor de energía requerida se tiene que los 2.400 [m³/ha/mes] representan en energía para bombeo a una altura total de 35 [m.c.a] (eficiencia de la bomba de 65 %):

$$E = V * H / (367 * e_{0/1}) = 2.400 * 35 / (367 * 0,65) = 352 [kWh/ha/mes]$$

El valor anterior será empleado en el cálculo de superficie de riego afecta por el sistema de generación.

7.3 Estimación de la Producción de Energía

7.3.1 Caudales medios mensuales (serie hidrológica)

La serie de caudales medios mensuales empleados será continua con un registro igual o superior a 25 años y deberán estar representados en forma proporcional los años de lluvia extrema, lluviosos, normales, secos y muy secos de acuerdo con la aportación anual en los rangos indicados en la Figura 7.2

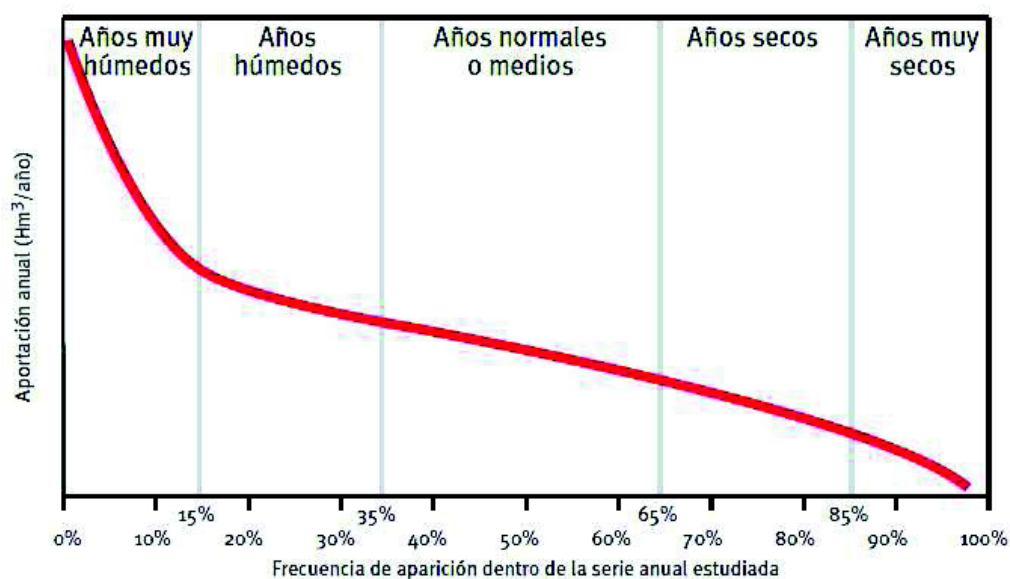


Fig. 7.2 - Tipo de año hidrológico en función de aportación anual

Fuente: IDAE "Microcentrales hidroeléctricas" España (2004)

A continuación, se describe el proceso de selección de equipamiento, cálculo de generación y superficie de riego afecta.

7.3.2 Información hidrológica

Se emplearán datos de una serie de caudales medios mensuales, continua por un período no inferior a 25 años.

Los datos corresponderán a caudales disponibles para generación (turbinables), los cuales consideran deducido en cada valor tanto el caudal ecológico como cualquier otro que corresponda restar entre captación y restitución.

Tabla 7.2 - Formato ejemplo de presentación de serie hidrológica de caudales medios mensuales disponibles para generación en bocatoma de captación, en [l/s].

Año hidrológico con serie no inferior a 25 años

Meses de máxima demanda hídrica del cultivo (Enero)

Año hidrol.		abril	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	Prom.
1990	1991	499	614	1064	485	946	987	512	303	208	138	110	116	499
1991	1992	378	1010	734	1105	540	887	530	446	552	291	166	148	566
1992	1993	228	819	1279	541	475	743	887	798	528	314	177	168	580
1993	1994	313	1209	1733	1497	838	587	515	517	907	284	202	153	730
1994	1995	208	546	1086	1305	510	922	878	704	822	290	175	150	633
1995	1996	253	352	1361	1044	713	902	734	667	381	199	164	156	577
1996	1997	257	372	502	304	567	501	428	330	177	143	213	118	326
1997	1998	448	676	1308	1379	1241	819	735	797	467	223	147	128	697
1998	1999	141	189	306	426	524	387	319	203	133	99	78	84	241
1999	2000	76	150	834	422	1072	946	572	407	202	126	180	143	428
2000	2001	152	313	1693	1175	666	652	823	616	459	461	233	170	618
2001	2002	130	1015	1544	1889	656	483	477	318	234	144	120	265	606
2002	2003	288	590	752	566	998	772	1583	1007	584	317	181	127	647
2003	2004	116	688	1013	889	768	688	697	590	364	193	120	107	519
2004	2005	516	205	1026	1258	446	595	542	606	261	140	102	114	484
2005	2006	109	737	1327	954	867	595	476	1046	556	289	144	139	603
2006	2007	327	546	1586	1583	702	786	700	549	380	237	159	130	641
2007	2008	212	195	279	715	361	509	950	720	385	204	121	56	392
2008	2009	70	649	529	1088	1050	998	614	604	164	85	61	42	496
2009	2010	174	1096	647	806	1290	819	826	940	531	267	156	82	636
2010	2011	61	80	609	571	585	506	623	722	458	233	140	133	393
2011	2012	278	227	573	371	770	873	653	494	265	182	196	192	423
2012	2013	162	177	955	479	372	436	386	245	477	231	128	88	345
2013	2014	109	221	964	949	733	1075	410	650	188	175	125	94	475
2014	2015	248	572	1050	980	734	724	683	591	409	220	150	132	541
Promedio		230	530	990	911	737	728	662	595	404	219	150	129	524
Máximo		516	1209	1733	1889	1290	1075	1583	1046	907	461	233	265	
Mínimo		61	80	279	304	361	387	319	203	133	85	61	42	
Nº datos:		300												

Fuente: Elaboración propia

7.3.3 Selección de caudal de diseño de la turbina hidráulica

La curva de Duración de Caudales para el diseño de la microcentral se construye con los valores de Frecuencia Acumulada (FA %) - en el eje de la abscisa - y Caudal Medio (Q_m) en el eje de la ordenada, **seleccionando un valor de Probabilidad de Excedencia de 50% para sistemas On-Grid y de 75 % para sistemas Off-Grid.**

Para el caudal de diseño se considerarán dos escenarios que tienen relación cuando el sistema es con respaldo de red (On - grid) o aislado (isla o Off Grid); en el primer caso si el sistema está conectado a red la seguridad es mayor y puede ser diseñado con un caudal más alto - menor probabilidad de excedencia - ya que en los meses de mayor demanda de riego tiene altas probabilidades de quedar fuera de servicio ya que la razón ($q/Q_{\text{diseño}}$) es baja y especialmente en cauces con baja altura y turbinas axiales la turbina tendría altas probabilidades de quedar fuera de servicio en el mes de utilización para riego.

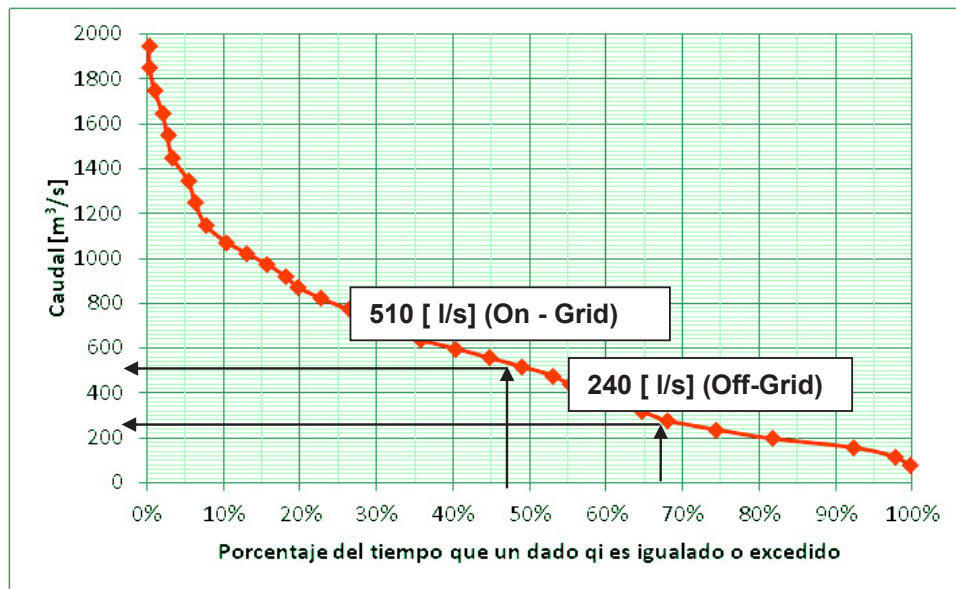


Fig. 7.3 - Definición del Caudal de diseño en la Curva de Duración de Caudales, para sistemas aislados y conectados a red.

Fuente: Elaboración propia

La rentabilidad de un sistema de generación hidroeléctrica depende de la intensidad de uso expresada por el denominado Factor de Carga, de la manera siguiente:

$$\text{Factor de Carga} = \frac{\text{Energía total utilizada por las cargas}}{\text{Capacidad total de energía conectada}}$$

Mientras más alto es el Factor de Carga, mejor es la rentabilidad del sistema y por ello si un sistema aislado es diseñado con una baja probabilidad de excedencia habrá una alta probabilidad de quedar fuera de servicio - especialmente en años secos - y el agricultor tenga que recurrir a un sistema electrógeno de emergencia o motobomba, ya que el caudal de operación del cauce va a estar sobre el mínimo técnico, dejando la planta fuera de servicio.

7.3.4 Selección de Turbina

a) Sistema con conexión a red (On-Grid)

Empleando un caudal de diseño con 50% de probabilidad de excedencia que corresponde a 510 [l/s] (máximo), se tiene

Tabla 7.3 - Especificaciones de turbinas seleccionada

Turbina seleccionada:	Flujo Cruzado
Potencia estimada:	100 kW (125 kVA)
Caudal de diseño (Qd):	510 [l/s]
Altura bruta (Hn):	25 [m.c.a.]
Longitud de tubería (L):	150 [m]
Pérdidas de carga (a Qd):	0,5 [mca]
Altura Neta:	$25 - 0,5 = 24,5$ [m.c.a.]
Eficiencia máxima:	80 %
Diámetro de tubería:	0,60m (600 mm)
Material de tubería:	acero
Rugosidad de material:	0,016

Para la selección de turbina se puede emplear una diagrama de fabricante, en este caso el fabricante Wiegert & Bähr de Austria provee una turbina de flujo cruzado de 110 kW, en su línea de productos de fabricación.

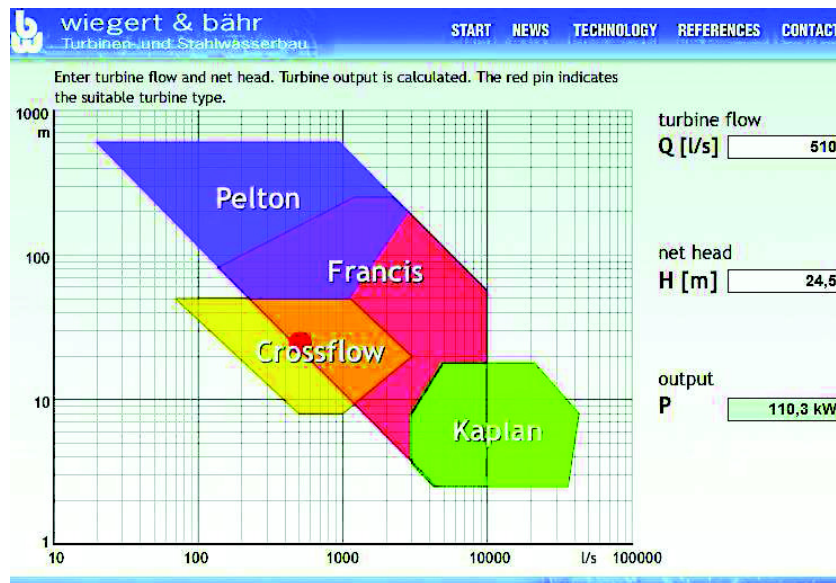


Fig. 7.4 - Diagrama de Selección de Turbina de Flujo Cruzado con conexión a red (On-Grid).

Fuente: <http://www.irem.it> y <http://www.wb-wasserkraft.de/flash/en/index.html>

b) Sistema sin conexión a red (Off-Grid)

Empleando un caudal de diseño con 75 % de probabilidad de excedencia que corresponde a 240 [l/s] (máximo), se obtienen los siguientes valores:

Tabla 7.4 - Especificaciones de turbinas seleccionada

Turbina seleccionada:	Flujo Cruzado
Potencia estimada:	52 kW (65 kVA)
Caudal de diseño (Qd):	240 [l/s]
Altura bruta (Hn):	25 [m.c.a.]
Longitud de tubería (L):	150 [m]
Pérdidas de carga (a Qd):	0,5 [mca]
Altura Neta:	$25 - 0,5 = 24,5$ [m.c.a.]
Eficiencia máxima:	80 %
Diámetro de tubería:	0,42m (420 mm)
Material de tubería:	acero
Rugosidad de material:	0,016

Para la selección de turbina se puede emplear una diagrama de fabricante, en este caso el fabricante Wiegert & Bahr de Austria provee una turbina flujo cruzado de 52 kW en su línea de turbinas fabricadas.

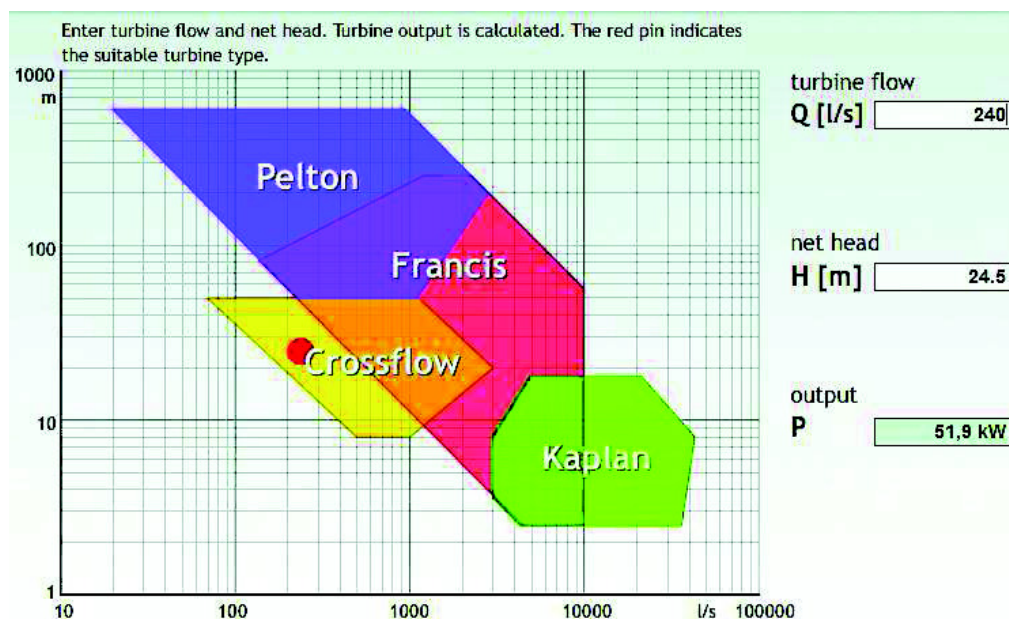


Fig. 7.6 - Diagrama de Selección de Turbina de Flujo Cruzado para un sistema aislado (Isla ó Off-Grid).

Fuente: <http://www.wb-wasserkraft.de/flash/en/index.html>

7.3.5 Estimación de Potencia Instalada, Generación Anual y Factor de Planta

Para presentar los resultados de generación y factor de planta se pueden hacer en una tabla Excel de la forma en que se explica en la figura explica en la figura siguiente.

TURBINA Fijo Cruzado				Qd [l/s]: 510		Hb [m]: 26		e _{max} : 79%		P1 [kW]: 97				
D _{tub} [m]: 0,60		n: 0,016		(acero galvanizado)		L _{tubería} [m]: 150		Nº horas : 8760						
Qi	Qi+1	Qm	f	f %	FA%	q1/Qd1	η [%]	Qop	v[m/s]	hf	H _{neto}	Pi	Ti [h/y]	E [MWh]
1900	2000	1950	1	0%	0%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	29,2	2,86
1800	1900	1850	0	0%	0%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	0	0,00
1700	1800	1750	2	1%	1%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	58,4	5,72
1600	1700	1650	3	1%	2%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	87,6	8,58
1500	1600	1550	2	1%	3%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	58,4	5,72
1400	1500	1450	2	1%	3%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	58,4	5,72
1300	1400	1350	6	2%	5%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	175,2	17,17
1200	1300	1250	3	1%	6%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	87,6	8,58
1100	1200	1150	4	1%	8%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	116,8	11,44
1050	1100	1075	8	3%	10%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	233,6	22,89
1000	1050	1025	8	3%	13%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	233,6	22,89
950	1000	975	8	3%	16%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	233,6	22,89
900	950	925	7	2%	18%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	204,4	20,03
850	900	875	5	2%	20%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	146	14,30
800	850	825	9	3%	23%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	262,8	25,75
750	800	775	11	4%	26%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	321,2	31,47
700	750	725	12	4%	30%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	350,4	34,33
660	700	680	9	3%	33%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	262,8	25,75
620	660	640	7	2%	36%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	204,4	20,03
580	620	600	14	5%	40%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	408,8	40,05
540	580	560	13	4%	45%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	379,6	37,19
500	540	520	13	4%	49%	100%	80	510	1,80	1,50	24,5	98,0	379,6	37,19
460	500	480	12	4%	53%	94%	80	480	1,70	1,33	24,7	93,4	350,4	32,73
420	460	440	7	2%	55%	86%	81	440	1,56	1,11	24,9	87,4	204,4	17,85
380	420	400	11	4%	59%	78%	82	400	1,41	0,92	25,1	81,1	321,2	26,06
340	380	360	3	1%	60%	71%	84	360	1,27	0,75	25,3	74,6	87,6	6,53
300	340	320	14	5%	65%	63%	85	320	1,13	0,59	25,4	67,5	408,8	27,58
260	300	280	10	3%	68%	55%	85	280	0,99	0,45	25,5	59,8	292	17,47
220	260	240	19	6%	74%	47%	85	240	0,85	0,33	25,7	51,6	554,8	28,62
180	220	200	22	7%	82%	39%	85	200	0,71	0,23	25,8	42,9	642,4	27,53
140	180	160	32	11%	92%	31%	83	160	0,57	0,15	25,9	33,8	934,4	31,58
100	140	120	16	5%	98%	24%	81	120	0,42	0,08	25,9	24,6	467,2	11,51
60	100	80	6	2%	100%	16%	77	80	0,28	0,04	26,0	15,7	175,2	2,75
40	60	50	1	0%	100%	10%	73	50	0,15	0,01	26,0	9,3	29,2	0,27
20	40	30	0	0%	100%	6%	0%	30	0,11	0,01	26,0	0,0	0	0,00
0	20	10	0	0%	100%	2%	0%	10	0,04	0,00	26,0	0,0	0	0,00
300				100%								Energía [MWh/año]: 651,1		
												Factor de Planta: 77%		

Diámetro interior de tubería

Tipo de turbina

Rugosidad de Tubería

Caudal de diseño

Altura bruta

Rendimiento máximo

Longitud de Tubería

Potencia de Turbina

Cantidad de datos empleados

Frecuencia Acumulada

Pérdida de Carga

Altura neta

Generación y Factor de Planta

Fig. 7.7 - Formato ejemplo de presentación de planilla de cálculo de generación anual de energía (Serie de caudales medios mensuales de 25 años).

Si se procesan los datos de la tabla 7.2 con los caudales de diseño indicados en la Fig. 7.3 se obtiene los resultados presentados en las Tablas 7.5 y 7.6

Tabla 7.5 - Generación hidroeléctrica para turbina de 100 kW (125KVA) (On-Grid)

TURBINA Flujo Cruzado				Qd [l/s]:		510	Hb [m]:		25	e _{max} : 85%		P1 [kW]:		100	
D _{tub} [m]:		0,60	n:	0,016 (acero galvanizado)				L _{tubería} [m]:		150	Nº horas :		8760		
Qi	Qi+1	Qm	f	f %	FA%	q1/Qd1	η [%]	Qop	v[m/s]	hf	H _{neto}	Pi	Ti [h/y]	E [MWh]	
1900	2000	1950	1	0%	0%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	29,2	2,74	
1800	1900	1850	0	0%	0%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	0	0,00	
1700	1800	1750	2	1%	1%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	58,4	5,49	
1600	1700	1650	3	1%	2%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	87,6	8,23	
1500	1600	1550	2	1%	3%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	58,4	5,49	
1400	1500	1450	2	1%	3%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	58,4	5,49	
1300	1400	1350	6	2%	5%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	175,2	16,47	
1200	1300	1250	3	1%	6%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	87,6	8,23	
1100	1200	1150	4	1%	8%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	116,8	10,98	
1050	1100	1075	8	3%	10%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	233,6	21,95	
1000	1050	1025	8	3%	13%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	233,6	21,95	
950	1000	975	8	3%	16%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	233,6	21,95	
900	950	925	7	2%	18%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	204,4	19,21	
850	900	875	5	2%	20%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	146	13,72	
800	850	825	9	3%	23%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	262,8	24,70	
750	800	775	11	4%	26%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	321,2	30,19	
700	750	725	12	4%	30%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	350,4	32,93	
660	700	680	9	3%	33%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	262,8	24,70	
620	660	640	7	2%	36%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	204,4	19,21	
580	620	600	14	5%	40%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	408,8	38,42	
540	580	560	13	4%	45%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	379,6	35,67	
500	540	520	13	4%	49%	100%	80	510	1,80	1,50	23,5	94,0	379,6	35,67	
460	500	480	12	4%	53%	94%	80	480	1,70	1,33	23,7	89,6	350,4	31,40	
420	460	440	7	2%	55%	86%	81	440	1,56	1,11	23,9	83,8	204,4	17,14	
380	420	400	11	4%	59%	78%	82	400	1,41	0,92	24,1	77,9	321,2	25,02	
340	380	360	3	1%	60%	71%	84	360	1,27	0,75	24,3	71,6	87,6	6,27	
300	340	320	14	5%	65%	63%	85	320	1,13	0,59	24,4	64,8	408,8	26,50	
260	300	280	10	3%	68%	55%	85	280	0,99	0,45	24,5	57,5	292	16,78	
220	260	240	19	6%	74%	47%	85	240	0,85	0,33	24,7	49,6	554,8	27,50	
180	220	200	22	7%	82%	39%	85	200	0,71	0,23	24,8	41,2	642,4	26,46	
140	180	160	32	11%	92%	31%	83	160	0,57	0,15	24,9	32,5	934,4	30,36	
100	140	120	16	5%	98%	24%	81	120	0,42	0,08	24,9	23,7	467,2	11,07	
60	100	80	6	2%	100%	16%	77	80	0,28	0,04	25,0	15,1	175,2	2,64	
40	60	50	1	0%	100%	10%	73	50	0,18	0,01	25,0	9,0	29,2	0,26	
20	40	30	0	0%	100%	6%	0%	30	0,11	0,01	25,0	0,0	0	0,00	
0	20	10	0	0%	100%	2%	0%	10	0,04	0,00	25,0	0,0	0	0,00	
			300	100%								Energía [MWh/año]:		624,8	
												Factor de Planta:		71,4%	

Fuente: Elaboración propia

En este caso para un sistema On-Grid resulta una producción de 625 [MWh/año], lo que para 100 kW entrega un valor de Factor de Planta de 71 %.

Tabla 7.6 - Generación hidroeléctrica para turbina de 50 kW (63 KVA) (Off-Grid)

TURBINA Flujo Cruzado				Qd [l/s]: 240		Hb [m]: 25	e _{max} : 85%		P1 [kW]: 50					
D _{tub} [m]: 0,45		n:	0,016 (acero galvanizado)				L _{tubería} [m]: 150		Nº horas :		8760 (1 mes)			
Qi	Qi+1	Qm	f	f %	FA%	q1/Qd1	eff rel 1	Qop	v[m/s]	hf	H _{neto}	Pi	Ti [h]	E [MWh]
1900	2000	1950	1	0,3%	0,3%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	29,2	1,29
1700	1900	1800	2	0,7%	1,0%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	58,4	2,58
1500	1700	1600	5	1,7%	2,7%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	146,0	6,45
1300	1500	1400	10	3,3%	6,0%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	292,0	12,90
1100	1300	1200	10	3,3%	9,3%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	292,0	12,90
1000	1100	1050	14	4,7%	14%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	408,8	18,06
900	1000	950	14	4,7%	19%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	408,8	18,06
800	900	850	16	5,3%	24%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	467,2	20,64
700	800	750	26	8,7%	33%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	759,2	33,54
600	700	650	25	8,3%	41%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	730,0	32,25
500	600	550	33	11,0%	52%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	963,6	42,57
400	500	450	22	7,3%	59%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	642,4	28,38
300	400	350	13	4,3%	64%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	379,6	16,77
280	300	290	5	1,7%	65%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	146,0	6,45
260	280	270	6	2,0%	67%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	175,2	7,74
240	260	250	7	2,3%	70%	100%	80	240	1,51	1,52	23,5	44,2	204,4	9,03
220	240	230	7	2,3%	72%	96%	80	230	1,45	1,40	23,6	42,7	204,4	8,73
200	220	210	12	4,0%	76%	87%	81	210	1,32	1,17	23,8	39,8	350,4	13,96
180	200	190	12	4,0%	80%	79%	82	190	1,19	0,95	24,0	36,9	350,4	12,93
160	180	170	11	3,7%	84%	71%	84	170	1,07	0,76	24,2	33,8	321,2	10,85
140	160	150	17	5,7%	89%	62%	85	150	0,94	0,59	24,4	30,4	496,4	15,08
120	140	130	14	4,7%	94%	54%	85	130	0,82	0,45	24,6	26,7	408,8	10,91
100	120	110	13	4,3%	98%	46%	85	110	0,69	0,32	24,7	22,7	379,6	8,62
40	100	70	5	1,7%	100%	29%	83	70	0,44	0,13	24,9	14,1	146,0	2,06
0	40	20	0	0,0%	100%	8%	0	20	0,13	0,01	25,0	0,0	0,0	0,00
			300	100%							Energía [MWh]:			352,8
											Factor de Planta:			80,9%

Fuente: Elaboración propia

En este caso para un sistema Off-Grid resulta una producción de 353 [MWh/año], lo que para 50 kW entrega un valor de Factor de Planta de 81 %.

Tabla 7.7 - Comparativo de los resultados del ejemplo para instalación On-Grid y Off-Grid

Sistema	Q diseño [m³/s]	Probabilidad de Excedencia [%]	Potencia Instalada [kW]	Generación Anual [MWh]	Factor de Planta [%]
On - Grid	0,51	50	100	625	71
Off-Grid	0,24	75	50	353	81

Fuente: Elaboración propia

7.4 Cálculo de superficie de riego afecta por la generación hidroeléctrica

En un concurso de riego es importante conocer cuál es la cobertura posible que la fuente energía puede satisfacer en términos de "*superficie de riego afecta*".

La superficie afecta se determinará como la razón entre la producción de energía promedio mensual, [kWh/mes], y la demanda de agua por unidad de superficie - expresada como energía en [kWh/ha/mes] - en el mes de máxima demanda (enero).

Si se considera que a energía bruta anual producida es de 625.000 [kWh/año] (Tabla 7.5), la neta será de la obtenida por las pérdidas siguientes:

Pérdidas por transmisión eléctrica =	10 %
Pérdidas en transformadores =	5 %
Disponibilidad de servicio =	97 %
Pérdidas en uso final =	8 %

En consecuencia, considerando los rendimientos anteriores se obtiene un 76% (0,90 * 0,95 * 0,97 * 0,92), por lo que la generación se reducen a 475.000 [kWh/año], lo que representan 39.583 [kWh/mes].

Para estimar la superficie afecta se emplearan los datos de demanda hídrica - como energía por unidad de superficie - cuyo valor resultado fue de 352 [kWh/ha/mes], calculados en el inciso 7.2

Luego, el valor de la superficie afecta por la energía generada, para el sistema On - Grid, estaría dada por:

$$\begin{aligned} \text{Superficie de riego afecta} &= \frac{\text{Energía neta producida por MCH (ENP)} \quad [\text{kWh/mes}]}{\text{Demanda de energía hídrica del cultivo (DEC)} \quad [\text{kWh/ha /mes}]} \\ &= 39.583 / 352 \quad [\text{kWh/mes}] / [\text{kWh/ha/mes}] \\ &= 112 \quad [\text{ha}] \end{aligned}$$

En forma similar, haciendo el cálculo para el sistema Off - Grid se obtiene para una generación bruta de 353.000 [kWh/año] - con eficiencia de 76 % - se obtiene una generación neta de 268.280 [kWh/año] y 22.356 [kWh/mes], luego la superficie de riego afecta es de **63,5 [ha]**.

8.0 SISTEMAS HIBRIDOS

Las micro turbinas convierten la energía potencial o cinética de un flujo de agua a electricidad; como clasificación por potencia en el equipamiento hay sistemas picohidro (pico centrales hidroeléctricas de $P \leq 5$ [kW]) y mayores, con microhidro (micro centrales hidroeléctricas de rango $5 < P$ [kW] ≤ 100); los primeros generan en corriente continua (CC) o alterna (CA) y los segundos en corriente alterna, monofásica de 220 [V] o trifásica de 380 [V].

De los sistemas eléctricos con energías renovables la generación hidroeléctrica es la que requiere mayor inversión en infraestructura, pero es la que tiene mejor rentabilidad.

Considerando que el proyecto de la microcentral está asociado a un proyecto de riego, la demanda de riego determinará la potencia instalada máxima (bonificable) de la instalación y si la potencia requerida por las bombas de impulsión es mayor, el sistema puede configurarse "on grid" para aumentarla con aporte de energía desde la red. Ahora bien, si el potencial hidráulico es mayor que el requerimiento de energía para riego, la posibilidad diseñar una micro central de mayor potencia para abastecer cargas adicionales (domiciliarias, industriales u otras) también es factible, pero la diferencia de potencia no será objeto de bonificación.

Ahora bien, si la potencia es deficitaria para satisfacer el sistema de bombeo, el agricultor podrá definir si implementa un híbrido del tipo grupo electrógeno - turbina o bien red - turbina hidráulica, o una combinación de ambos en caso de que tenga acceso a la red y emplee un grupo electrógeno de respaldo.

Como la instalación hidroeléctrica es muy específica para cada sitio - la captación y la restitución en el curso de agua son puntos específicos - en relación con la localización de las obras en el diseño deberá optimizarse la red de transmisión para reducir las pérdidas de energía por conducción.

La mayor parte de las experiencias de sistemas híbridos en corriente continua, tipo isla ("*off grid*") con pico turbinas son bancos de baterías e inversores CC/CA; existen pocos casos de pico centrales conectadas a la red ("*on-grid*"), de hecho en la literatura solo la empresa de pico turbinas *Power Spout* presenta en su catálogo esta configuración en la que recomiendan el uso de inversores con conexión a red, los cuales se denominan "*grid-tie*".

8.1 Configuraciones Híbridas "*Off-Grid*"

Si en el sitio de proyecto no hay disponibilidad de red eléctrica, el beneficiario podrá configurar un sistema híbrido del tipo "isla" con generador del tipo magneto de imanes permanentes - generalmente con rectificador de corriente alterna a continua a - o bien con alternador síncrono; en este último caso se recomienda hacerlo desde potencias de 2 [kW] o superiores para no aumentar demasiado la corriente de salida.

Las centrales operan típicamente a caudal fijo; el caudal se fija de acuerdo a la potencia a generar. El control de la frecuencia se efectúa con reguladores electrónicos y carga lastre. El regulador detecta la frecuencia y la mantiene constante derivando el exceso de energía a las resistencias disipadoras de la carga lastre; si la demanda de energía aumenta, el regulador retira energía disipada y la envía a los consumos. De este modo, la potencia de generación es la suma de la potencia útil más la potencia disipada en la carga lastre.

Debido a que el sistema no puede almacenar energía y el exceso, como se ha dicho, se disipa, es conveniente asegurar el uso más eficiente posible de la energía disponible, preferentemente en usos productivos, para rentabilizar la inversión.

Esta configuración puede ser efectuada en corriente continua o alterna (mono o trifásica sin acumulación), teniendo en cuenta que en ambas opciones debe existir un sistema de disipación de la carga del tipo carga lastre (resistencias eléctricas enfriadas por agua o por aire).

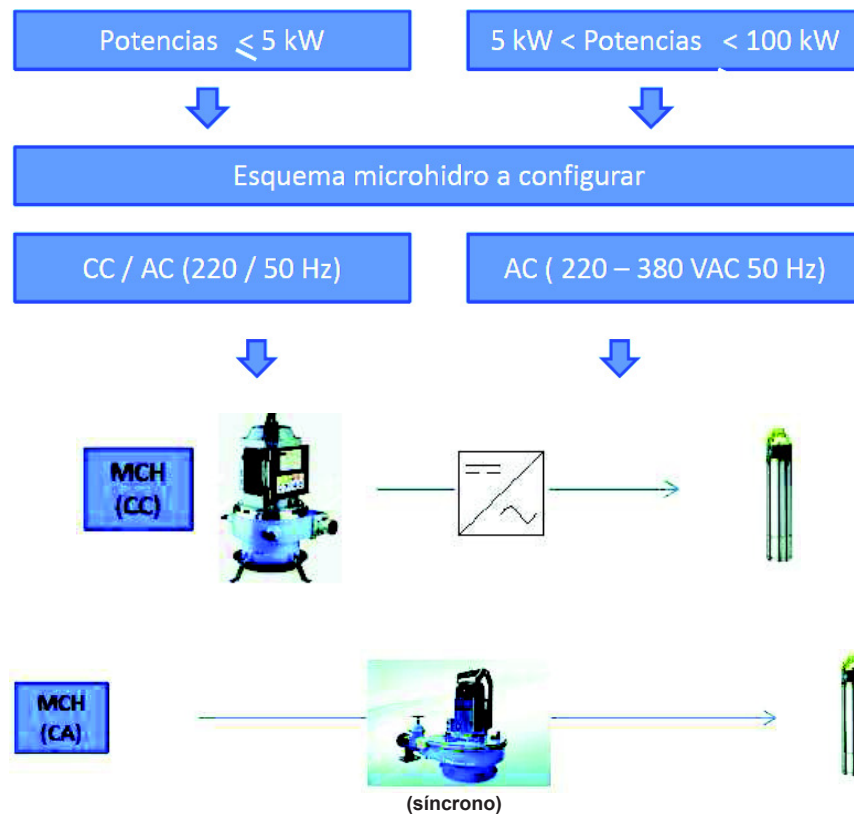


Fig. 8.1 - Configuraciones híbridas "off-grid" en corriente continua o alterna
Fuente: Elaboración propia

La recomendación para las configuraciones "off-grid" en corriente continua, es que las conexiones se hagan con conductores a distancias deberán seguir las indicaciones de los fabricantes en lo que respecta a las instalaciones para que el manejo de altas corrientes no represente riesgos a las personas.

La opción "isla" en corriente alterna (monofásica o trifásica) es la que se debe optar preferentemente en los sistemas de micro generación asociado a proyectos de riego y para ello se deben usar generadores síncronos con controles electrónicos de frecuencia; en la figura siguiente se pueden ver dos ejemplo de instalaciones de este tipo. Para una mejor comprensión de estos generadores en las figuras siguientes se presentan sus características constructivas y el despiece.

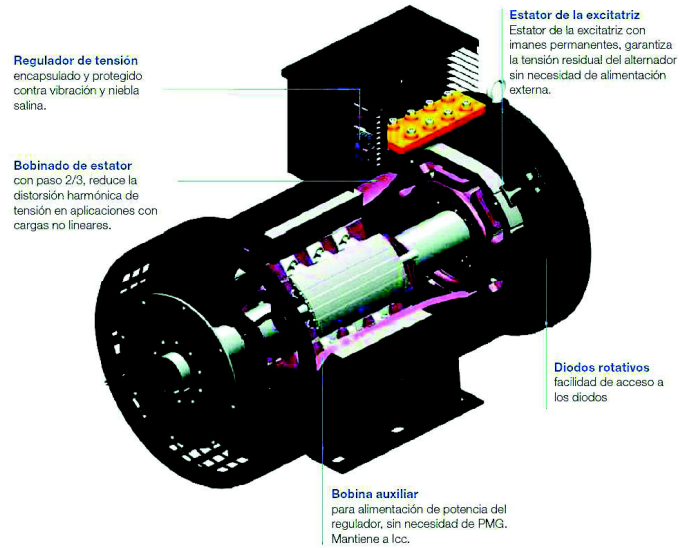


Fig. 8.2a Características constructivas de un generador síncrono
Fuente: WEG "Alternadores Sincrónicos"

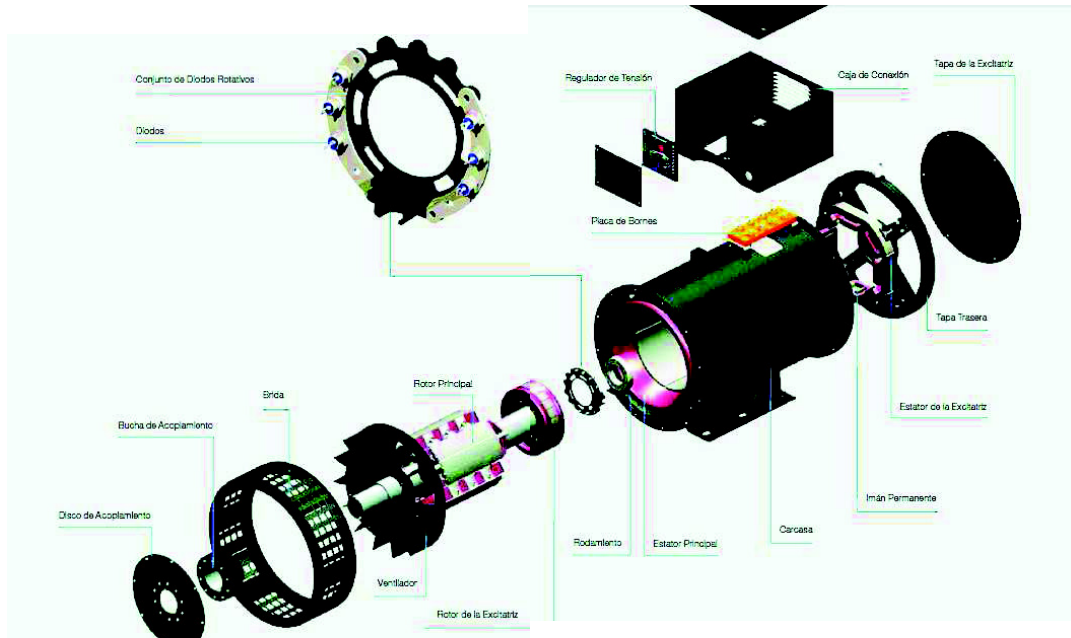


Fig. 8.2b - Despiece de un generador síncrono mostrando el sistema excitatriz con imanes permanentes que permite generar en modo "isla"
Fuente: WEG "Alternadores Sincrónicos"

8.2 Configuraciones Híbridas "On-Grid"

Si en el sitio de proyecto hay disponibilidad de red eléctrica, el beneficiario podrá conectar la micro central a la red. Los sistemas "on-grid" operan sin baterías y pueden despachar el exceso de energía a la red, lo cual puede hacerse previo acuerdo con la compañía distribuidora en el *esquema "net-billing"*. Estos grupos de generación deben tener su propio sistema de control electrónico por carga lastre ya que ello es imprescindible especialmente en caso de corte de energía de la red.

Los inversores con conexión a red son diferentes de los inversores que se conectan con baterías, ya que solo funcionan si están conectados a la red y están fabricados a propósito para convertir corriente continua a alterna (desde módulos fotovoltaicos, generadores eólicos o bien pequeñas turbinas hidráulicas). Estos inversores "grid-tie" disponen de un algoritmo denominado *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* que permite mantener la turbina funcionando a la velocidad óptima. Como todo equipo con controladores MPPT, el proveedor deberá verificar y asegurarse que el inversor no se dañe con el "voltaje de circuito abierto", V_{oc} , en situaciones de operación sin carga.

Si se ejecuta una de estas instalaciones, es recomendable asegurarse que el fabricante del inversor aprueba la conexión a sistemas hidro para que opere y sincronice correctamente y adicionalmente asegurarse de que el modelo esté en la lista de equipos autorizados por la SEC¹, requisito indispensable para todo equipo que interactúe con las redes de distribución.

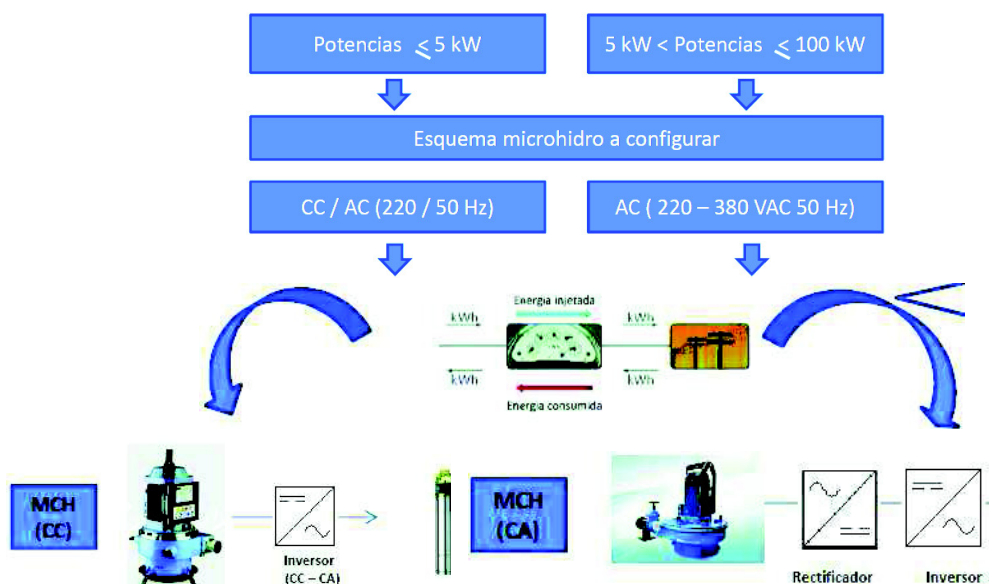


Fig. 8.3 - Configuraciones híbridas "on-grid" con generador en corriente continua o alterna (síncrono o asíncrono)
Fuente: Elaboración propia

¹ Actualmente esta obligación aplica sólo a inversores fotovoltaicos. En caso que un inversor fotovoltaico pueda ser utilizado en este tipo de instalaciones, se aceptará su condición de inversor con protección RI integrada. En caso contrario, debe contar con una protección RI externa.

Cuando se configuren sistemas “on-grid” con microturbinas debe verificarse que el voltaje de salida de ésta - o bien del rectificador - esté dentro del rango de operación del inversor, ya que estos generalmente operan sobre los 100 [V] en corriente continua.



Fig. 8.4 - Tipos de *inversores* “grid-tie” empleados para conexión de microturbinas a red, marcas Enasolar (izq.), Power One (centro) y SMA (der.).
Fuente: Elaboración propia

En la figura Fig. 8.5 se puede ver una configuración como la descrita a la derecha en la Fig. 8.3. La turbina tiene un generador trifásico en 240 V CA / 50 Hz y el rectificador transforma la corriente a 230 V CC para inyectar a la red o bien alimentar al consumo en forma preferencial; nótese que el exceso de energía es enviado a una carga lastre (“*Diversion Load*”) ya que puede haber desconexión de la red o bien un corte del servicio y el sistema se desconecta como lo exige la normativa de la SEC, en este caso si las cargas requieren más potencia de la que puede proporcionar la turbina, la extraen de la red. Los consumos e inyecciones de energía son registrados por el medidor bidireccional.

Para sistemas conectados a red se puede configurar en corriente alterna un sistema “on-grid” con microturbina que a la salida se rectifica a corriente continua y luego a corriente alterna mediante un inversor “grid tie” para luego ser despachada a consumo en forma preferencial y, en caso de exceder el consumo, enviada a la red.

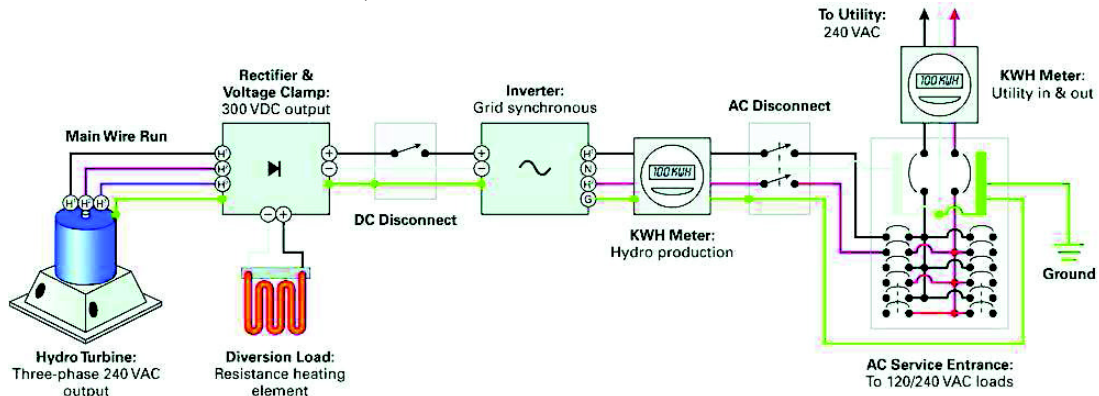


Fig. 8.5 - Configuración “on-grid” de turbina trifásica con rectificador e inversor en una conexión del tipo “net - billing”.

Fuente: <http://www.homepower.com/articles/solar-electricity/equipment-products/no-batteries-required>



Fig. 8.6 - Instalación de 6,4 kW conformada por cuatro (4) unidades de pico turbinas Power Spout (New Zealand) Modelo PLT 200 (en 171 V CC) conectadas a dos (2) inversores "grid-tie" Enasolar de 4kW.
Fuente: Catálogo turbinas Power Spot (NZ) 2014

Como los *inversores "on-grid"* solo operan con conexión a red, es posible configurarlos en sistemas "isla" si se los combina con un inversor *"off-grid"* para accionar, por ejemplo, un sistema monofásico o trifásico en directo; en la figura 8.9 se puede ver una combinación de este tipo con inversores SMA. La empresa Fronius (Austria) también hace combinaciones similares con inversores Victron (Holanda); en este caso, ambos fabricantes establecieron acuerdos en los protocolos de los *software* para hacer que los inversores puedan coordinarse en la operación.

Todos los sistemas on-grid requieren contar con una protección de red (RI), la cual deberá estar configurada en conformidad a la Norma Técnica de Conexión y Operación de Equipamiento de Generación de la Comisión Nacional de Energía.

La protección RI podrá ser integrada al inversor sólo cuando los inversores estén autorizados por la SEC (Fig. 8.7) y se puedan configurar de acuerdo la norma técnica, de lo contrario podrá instarse una protección RI externa (Fig. 8.8), cercana al punto de conexión a la red.

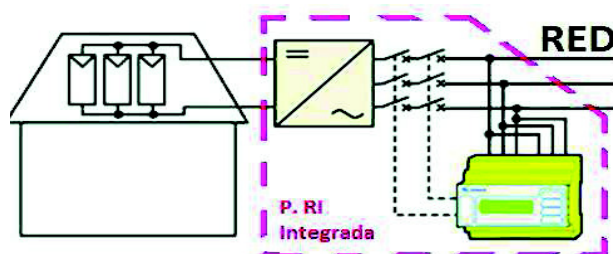


Fig. 8.7 - Esquema inversor con protección RI integrada
Fuente: Superintendencia Electricidad y Combustibles - Ley 20.571

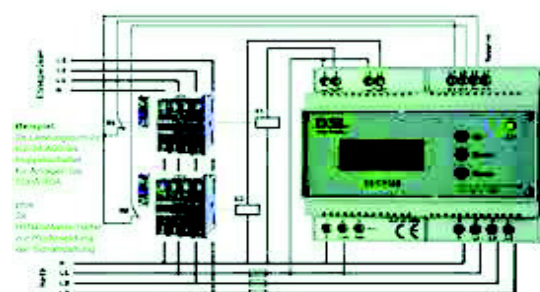


Fig. 8.8 - Esquema protección RI externa
Fuente: Superintendencia Electricidad y Combustibles - Ley 20.571



Fig. 8.9 - Configuración de inversores “off-grid” con baterías (equipo amarillo a la izquierda) sincronizado con inversores “grid-tie” (unidades rojas a la derecha) para operar en isla; la fuente de energía puede ser solar, eólica, hidro o una combinación de ellas.

Fuente: www.sma.de

La única desventaja de los sistemas con generadores asíncronos es que en caso de caída de la red, éstos no pueden generar en forma autónoma por lo que ello debe ser considerado

especialmente cuando es imprescindible la puesta en servicio - por ejemplo para sistemas de control anti-heladas - y se puede hacer instalando un grupo electrógeno de respaldo.

Para microturbinas con sistemas de riego se permitirán configuraciones “on-grid” en que la turbina suministrada está acoplada a un generador asíncrono, ya que algunos usuarios pueden optar por esta opción para aprovechar de vender el excedente a la red; si es así, la conexión de estos sistemas deberá cumplir con las normas SEC y de aprobación por la empresa eléctrica local en lo que respecta a equipos reconectores, protecciones y sincronización.

Hay varios fabricantes de turbinas con generadores asíncronos en corriente alterna. Uno de ellos es Cargo & Kraft, de Suecia, especializado en turbinas axiales para bajas caídas (<10 m) en el rango de 10 a 500 [kW]. En la Fig. 8.10 se muestra dos aplicaciones.

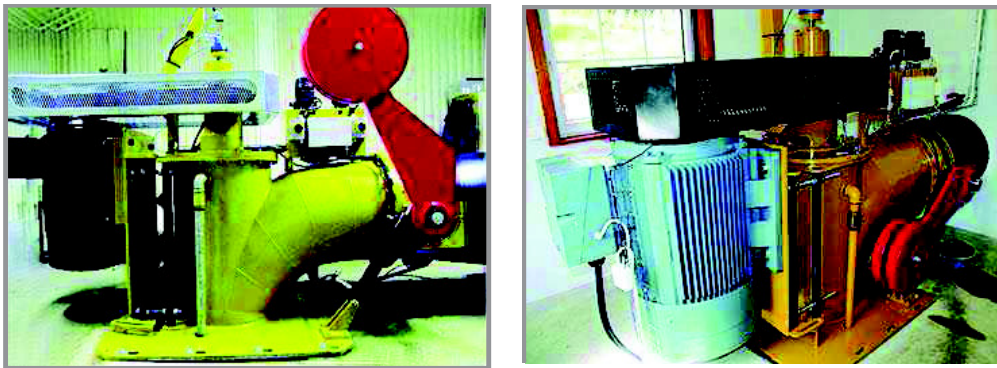


Fig. 8.10 - Configuraciones "on - grid" con generador asíncrono en corriente alterna (motor de inducción como generador) de $P = 90$ kW con $H = 6,8$ [m c.a.] (izq.) y $P = 55$ kW con $H = 6,4$ [m c.a.] (der.)
Fuente: [www. cargokraft.se](http://www.cargokraft.se)

8.3 Sistemas de distribución a los consumos (monofásico versus trifásico)

Los sistemas de distribución pueden ser monofásicos o trifásicos. Por lo general, para equipos y motores sobre 3 – 5 [kW], deben ser trifásicos; tienen las ventajas de permitir ampliaciones y de hacer una conexión futura a la red de distribución para venta de energía al sistema. Es importante recordar que en los sistemas trifásicos se reduce la sección de los conductores y que los motores trifásicos son más robustos que los monofásicos. Solamente en casos en que haya muy pocas aplicaciones puede ser conveniente invertir en un convertidor de fase² en vez de hacer una red trifásica.

Finalmente, los proveedores e instaladores pueden desarrollar muchas opciones de sistemas híbridos de diferentes tamaños integrando equipamientos de las tecnologías solar, eólica e hidráulica. En la Fig. 8.11 se presenta como ejemplo un sistema “off-grid” con equipos de SMA (Alemania) para la Isla Eiggs, en el Archipiélago de las Hébridas (UK). En la instalación el 80% del total de la potencia es aportada por las turbinas hidráulicas (110 kW), 10% por las turbinas

² Los convertidores de fase son dispositivos que convierten una corriente eléctrica monofásica (corriente en la que las tensiones de todas las fuentes de alimentación están sincronizadas) en energía eléctrica de múltiples fases.

eólicas (24 kW) y solo un 2% por los paneles fotovoltaicos (10 kW); a pesar de la contribución preponderante de la energía hidráulica, el sistema híbrido es necesario porque en los meses de junio y julio la generación hidroeléctrica baja mucho debido a que las lluvias disminuyen considerablemente (verano en Hemisferio Norte).

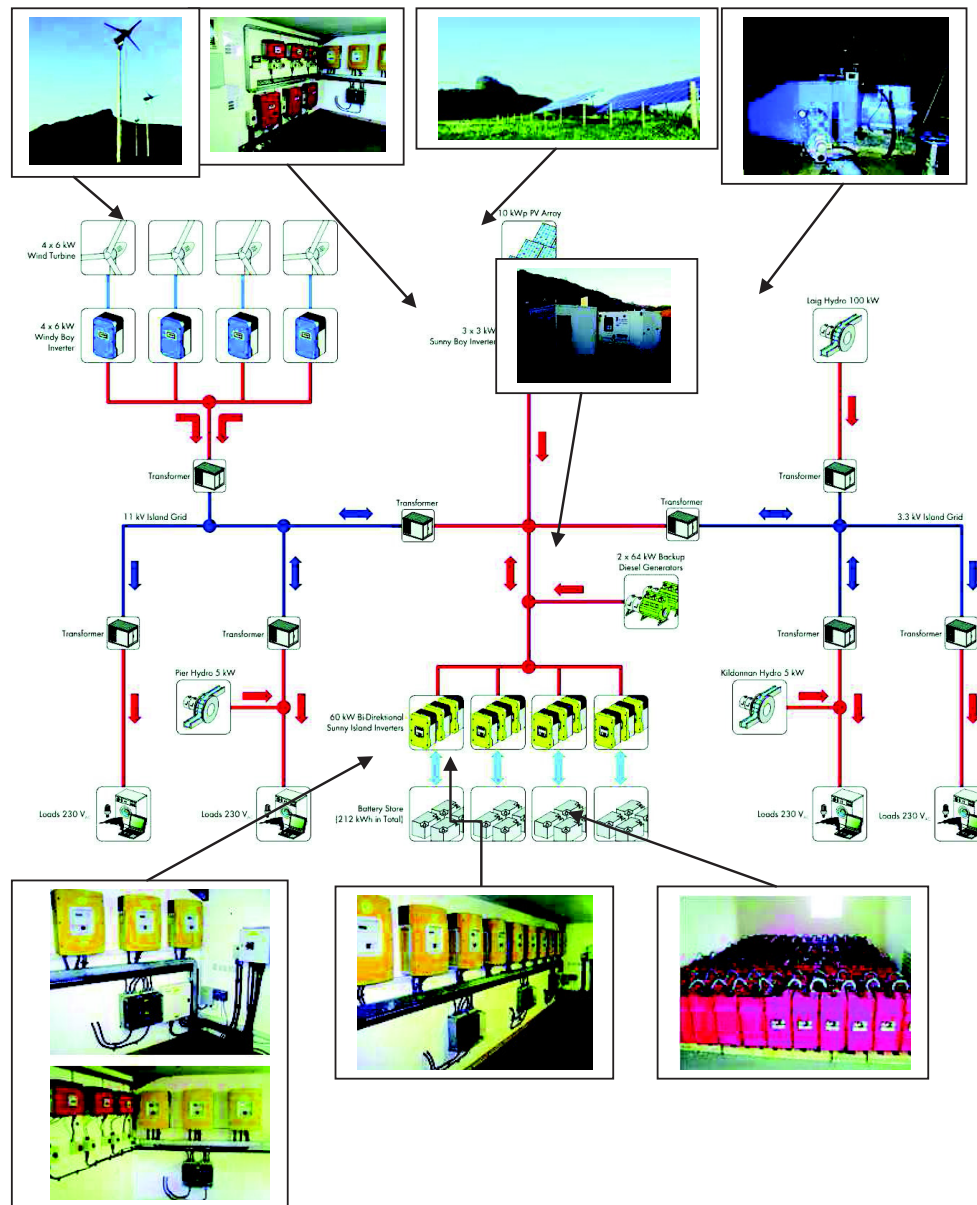


Fig. 8.11 - Configuración híbrida con microturbinas hidráulicas (3), fotovoltaico, eólico, banco de baterías y grupo electrógeno Diesel.

Fuente: Thim, Frank, Stratis Tapanlis y Steve Wade " *Conception and operation of a unique large-scale PV hybrid system on a Hebridean island*"

La Figura 8.11 y la Tabla 8.1 ilustra no solo el alto potencial con que puede contribuir un sistema hidroeléctrico en un esquema híbrido, sino también la diversas posibilidades de desarrollar grandes instalaciones de sistemas híbridos dependiendo de las condiciones y recursos que se pueden encontrar en un sitio; su desarrollo depende de la capacidad de los proyectistas para evaluar el potencial de los recursos energéticos y la habilidad técnica para aprovecharlos, integrando las tecnologías disponibles en el mercado.

Tabla 8.1 - Energía total generada y aporte por sistema en la instalación de las Isla Eigg entre noviembre de 2008 y octubre de 2009, en [MWh]

Hidroeléctrica	Eólica	PV	Diesel	Total
254,6	33,4	6,2	22,1	316
80,5 %	10,5 %	2 %	7%	100 %

Fuente: Thim, Frank; Stratis Tapanlis y Steve Wade " *Conception and operation of a unique large-scale PV hybrid system on a Hebridean island*" (2010)

8.4 Proveedores de equipos

Por lo común, los inversores “grid-tie” son monofásicos en bajas potencias (hasta unos 20 kW) y trifásicos sobre este rango de potencia; es posible configurarlos para trabajar en corriente trifásica, empleando tres unidades en paralelo en las cuales se configura uno de ellos como sistema de control (*master*), que sincroniza la operación de los otros dos. Los equipos pueden ser manufacturados con niveles de protección diferentes, de forma que se pueden emplear en interior (“indoor”) , exterior (“outdoor”) ya sea “on-grid” ó “off-grid” y se pueden configurar solo o en unidades en paralelo mono o trifásicas para aumentar la potencia; la información de las características específicas debe consultarse con cada proveedor.

Tabla 8.2 - Equipos para configurar sistemas “on-grid”

Marca	Origen	Página web	Producto	Potencias
Enasolar	Nueva Zelanda	http://www.enasolar.net/	Inversores	1,5; 2,0, 3,0; 3,8; 4,0 y 5,0 kW
Kaco		http://kaco-newenergy.com/es	Inversores	1,65 kVA a 2.000 kVA
Power One (ABB)	Suecia	http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar	Inversores Rectificadores CC - CA	2 - 6 kW (1 ϕ) 5,8 - 33 kW (3 ϕ) 4; 7,2 ; 15 y 25
SMA	Alemania	www.sma.de	Inversores	2,4 kW a MW
Fronius	Austria	www.fronius.at	Inversores	3 kW a MW
Schneider Electric	USA	www.schneider.com	Inversores	
Selectronic	Australia	www.selectronic.com.au	Inversores	3kW - 20kW 1 ϕ 6kW - 40kW split phase 9kW - 60kW 3 ϕ
Solectria	USA	www.solectria.com	Inversores	
MacroSolar SpA	Chile	http://www.macrosolar.cl/	Protección RI externa (BISI 4.0)	Relé de protección trifásico para proteger conexión a redes de medio y bajo voltaje
Bender (Changetec Technology GmbH)	Chile	www.bender-latinamerica.com	Protección RI externa	

Fuente: Elaboración propia

Cada equipo para interactuar con la red debe estar debidamente aprobado por la SEC quien certifica marca y modelo para uso en sistemas “on-grid”; el listado puede ser revisado en la página web: http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5847695,33_5905757&_dad=portal&_schema=PORTAL

9.0 MARCO INSTITUCIONAL

9.1 Permisos, Reglamentos y/o Normas

9.1.1 Dirección General de Aguas (DGA)

La DGA tiene relación con el desarrollo de los proyectos fundamentalmente respecto de las solicitudes relacionadas con Derecho de Aprovechamiento de Aguas (Art. 140) y traslados de ejercicio del DAA (Art. 163); en lo que respecta a obras hidráulicas estos se relacionan con la modificación de cauces (Art. 41 y 71), autorización de Construcción, Modificación, Cambio y Unificación de Bocatomas (Art. 151) y Construcción de Obras Mayores (Art. 294)

En esta sección se cubren los aspectos relacionados con la organización de usuarios, la constitución de los DAA y la regularización sectorial en que tiene ámbito de competencia la Dirección General de Aguas.

- **Organizaciones de Usuarios**

Estas organizaciones radican su existencia en el Código de Aguas vigente, tal como se contempla en el Título III del Libro II en sus artículos 186 al 293. Esto indica que, si dos o más personas tienen derechos de aprovechamiento sobre un mismo canal, embalse o acuífero, podrán reglamentarse como comunidad.

La Organización de usuarios básica en nuestro sistema jurídico es la Comunidad de Aguas, por ello las disposiciones legales del Código de Aguas que la reglamentan son aplicables a las Asociaciones de Canalistas y las Juntas de Vigilancia en cuanto no sean compatibles con su naturaleza.

Para el desarrollo de proyectos de micro-centrales es necesario que la Organización cumpla con mínimos requisitos de conformación y funcionamiento, algunos de ellos se detallan a continuación:

i) La organización de usuarios respectiva, deberá estar organizada legalmente, tanto para actuar jurídicamente como organización, como para ser contraparte válida ante instituciones, bancos o inversionistas con los cuales quiera asociarse.

ii) Según el Artículo 196 del Código de Aguas, establece que las comunidades se entenderán organizadas por su registro en la DGA, obteniendo con esto, personalidad jurídica. La organización de usuarios respectiva, deberá actuar dentro de la legislación vigente, es decir, este tipo de personas jurídicas son sin fines de lucro. Esto implica que las organizaciones tienen un fin propio que es tomar aguas del canal matriz, repartirlas entre titulares de derechos, construir, explotar, conservar y mejorar las obras de captación, acueductos, entre otras, que sean necesarias para su aprovechamiento y no efectuar retiro de utilidades para los regantes. Que estas organizaciones no tengan fines de lucro, significa que éstas pueden generar utilidades, pero deben ser distribuidas y utilizadas dentro de las labores propias de la organización.

Por lo anterior se ha dado la figura en la cual la organización constituye una sociedad, de la cual todos los titulares son miembros, que es la que participa de la sociedad generadora de hidroelectricidad.

iii) Otro punto importante es la regulación del uso de la fuerza motriz del agua, a nivel legal y estatutario. El Código de Aguas en el artículo 241 numeral 8 entrega legalmente al directorio de la organización de usuarios, la atribución de: “vigilar las instalaciones de fuerza motriz u otras, y el correcto ejercicio de las servidumbres”. Sin perjuicio de la consagración legal que esto tiene, es conveniente y recomendable, que esto quede establecido por los regantes, a través de una asamblea en una junta extraordinaria.

iv) El artículo 218 del CA indica que los negocios que interesen o afecten a la organización, se resolverán en juntas generales, que podrán ser ordinarias o extraordinarias, además, el artículo 224 establece que los acuerdos de la junta se tomarán por mayoría absoluta de votos, salvo que los estatutos establezcan otra mayoría. De lo antes indicado, si bien es cierto, el uso de la fuerza motriz es facultad del directorio, es del todo recomendable obtener y ratificar, la voluntad de los regantes, reunidos en junta para tal efecto, ya que en los hechos, se instalará en la cuenca un nuevo actor, que es el generador, el cual será participe de la vida diaria de los regantes, siendo importante la anuencia de estos últimos en asamblea, tanto respecto de la realización del negocio hidroeléctrico, como respecto del modelo de negocios.

- **Derechos de Aprovechamiento**

Para los proyectos de micro-centrales, es necesario tener los derechos de aguas, inscritos a nombre de cada uno de los regantes en el Conservador de Bienes Raíces respectivo y registrados en el Catastro Público de Aguas de la Dirección General de Aguas. Esto es de fundamental relevancia, el artículo 122 -inciso séptimo- del Código de Aguas, indica que los derechos de aprovechamiento de aguas, deberán inscribirse en el Catastro Público de la Dirección General de Aguas: “Sin perjuicio de lo señalado en este artículo y de lo establecido en el artículo 150 inciso segundo, los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas, cualquiera sea el origen de éstos, deberán inscribirlos en el Registro Público de Derechos de Aprovechamiento de Aguas. Con relación a los derechos de aprovechamiento que no se encuentren inscritos, no se podrá realizar respecto de ellos acto alguno ante la Dirección General de Aguas ni la Superintendencia de Servicios Sanitarios”.

En el negocio eléctrico, estos derechos deben tener la facultad de poder actuar ante la DGA, sobre todo por los permisos que serán necesarios para gestionar la materialización de la micro-central, por ejemplo: unificación de canales, cambio de bocatomas, modificación de cauces, cambio de ejercicio de los derechos, entre otros.

En relación al tipo del derecho de aprovechamiento, para el negocio de la generación hidroeléctrica se requieren los derechos de tipo no consuntivo ya que estos derechos no son consumidos y son restituidos a la misma fuente. Sin embargo, para el caso de la generación hidroeléctrica en obras de riego, los regantes ya poseen los derechos consuntivos, los cuales pueden ser utilizados sin la necesidad de cambiarlos a un uso de tipo no consuntivo.

Es necesario destacar que la autoridad constituirá el derecho de aprovechamiento solo sobre aguas existentes en fuentes naturales y en obras estatales de desarrollo del recurso, no pudiendo perjudicar ni menoscabar derechos de terceros, por lo tanto, un canal de riego o artificial queda excluido de la petición ya que los puntos de captación y/o restitución no se ubican en un cauce natural o en una obra estatal de desarrollo del recurso (esto último se refiere a embalses construidos con financiamiento estatal).

Lo esencial en las características del derecho de aprovechamiento para generación, es que los derechos tengan la condición de ejercicio permanente, un proyecto de generación basado mayoritariamente en derechos eventuales, prácticamente lo hace desestimable. Lo anterior por la continuidad de los caudales disponibles jurídicamente para aportar al negocio, y consecuentemente en la regularidad de la generación.

En relación con las Organizaciones de Usuarios, es primordial la protección y seguridad de riego. Este punto es uno de los elementos cruciales del negocio entre los regantes y la generadora. Los regantes deben tener garantizados los caudales necesarios para la realización

de su negocio principal que es la agricultura, por ende, deben tomarse los resguardos necesarios en el modelo de negocio.

- **Regulación Sectorial**

- a) Código de Aguas

La construcción de un proyecto de Micro-centrales tiene asociada la intervención de obras o construcción de nuevas obras, que necesitan el permiso de la Dirección General de Aguas para poder ser ejecutadas. El departamento encargado de dirimir técnica y legalmente las materias de competencia de la DGA, que dicen relación con la constitución y ejercicio de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas, es el Departamento de Administración de Recursos Hídricos, estableciendo su marco jurídico en las siguientes disposiciones:

- Código de Aguas, DFL N° 1122, 1981 (modificación Ley 20.017, 2005).
- Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, 2008.
- Guía de presentación de Proyectos Hidráulicos Generales para Obras del Artículo 294 del Código de Aguas.

A continuación, se detallan algunos de los permisos DGA que se podrían aplicar a los proyectos de micro-centrales hidroeléctricas en obras de riego, estos se diferencian en dos tipos:

- Solicitudes relacionadas con el Derecho de Aprovechamiento de Aguas
 1. Derechos de Aprovechamiento (Art. 140)
 2. Traslado del Ejercicio del Derecho (Art. 163)
 3. Solicitudes relacionadas con Obras Hidráulicas
 4. Modificación de Cauces (Art. 41 y 171)
 5. Autorización de Construcción, Modificación, Cambio y Unificación de Bocatomas (Art. 151)
 6. Construcción de Obras Mayores (Art. 294)

- 1. Derechos de Aprovechamiento**

La Constitución del Derecho de Aprovechamiento de Aguas queda definida en el artículo 140 y siguientes del Código de Aguas. Desde el punto de vista legal, la solicitud debe ser legalmente procedente, debe existir disponibilidad física del recurso y no debe causar perjuicio ni menoscabo de derechos de terceros. Desde el punto de vista técnico se debe comprobar la existencia del recurso y determinar la disponibilidad del recurso en la fuente.

La solicitud debe cumplir, a lo menos, los siguientes requisitos:

1. El nombre y demás antecedentes para individualizar al solicitante.
2. El nombre del alveo, su naturaleza (superficial o subterránea), corrientes o detenidas, y la provincia en que se ubica.
3. La cantidad de agua a extraer en medidas métricas y de tiempo.
4. El o los puntos donde se desea captar el agua, para el caso de los No Consuntivos, se debe indicar además el punto de restitución.
5. El modo de extraer el agua.
6. Si el derecho es de uso consuntivo o no consuntivo, de ejercicio permanente o eventual, continuo o discontinuo o alternado con otras personas. En el caso de los derechos no

consuntivos, se indicará, además, el punto de restitución de las aguas y la distancia y desnivel entre la captación y la restitución.

7. Memoria Explicativa. (Art. 129 bis 4 y 5)

2. Traslado del ejercicio del derecho de aprovechamiento

El traslado de ejercicio del derecho es un procedimiento que se encuentra definido en el artículo 163 del Código de Aguas. En él queda establecido que cualquier traslado del ejercicio de los derechos en cauces naturales deberá efectuarse mediante una autorización del Director General de Aguas.

La solicitud deberá ser autorizada por la DGA si no se afectan derechos de terceros y mientras exista disponibilidad del recurso en el nuevo punto de captación.

Los Derechos deben encontrarse debidamente inscritos en el Registro Público de Aguas de los Conservadores de Bienes Raíces respectivos y en el Catastro Público de Aguas de la DGA. Los requisitos de la solicitud son los siguientes:

1. El nombre y demás antecedentes para individualizar al solicitante.
2. Individualización del derecho de aprovechamiento (consuntivo, de ejercicio permanente y/o eventual, continuo, discontinuo o alternado, nombre del álveo, punto de captación, caudal, modo de extracción y la provincia).
3. Ubicación del nuevo punto de captación, nombre del álveo y provincia.
4. Individualización del caudal y las características del ejercicio en el nuevo punto de captación, solo en el caso que sean distintos a las características del derecho original.
5. Acompañar Certificado inscripción Catastro Público de Aguas.

3. Modificación de Cauces

El artículo 41 del Código de Aguas indica que la construcción y modificación necesaria de realizar en cauces naturales o artificiales que puedan causar daño a la vida, salud o bienes de la población o que de alguna manera alteren el régimen de escurrimiento de las aguas deberán ser aprobadas por la DGA.

Por otro lado, el artículo 171 del mismo Código, indica que los proyectos deben ser presentados a la DGA para su aprobación. En el caso de obras de regularización o defensa de cauces naturales deberán contar, además, con la aprobación del departamento de Obras Fluviales del Ministerio de Obras Públicas.

Quedan exceptuados de cumplir este requisito, los servicios dependientes del Ministerio de Obras Públicas, estos solo deben remitir los proyectos de obra a la DGA para su conocimiento, informe e inclusión en el Catastro Público de Aguas.

Los requisitos de la solicitud de Modificación de Cauces Naturales o Artificiales son los siguientes:

1. El nombre y demás antecedentes para individualizar al solicitante.
2. Ubicación precisa de las obras (coordenadas UTM o Datum)
3. El nombre del cauce natural o artificial, y la provincia
4. La manera en que se extraerán las aguas

5. Identificar los derechos de aprovechamiento asociados a las obras que se pretende ejecutar, con certificación de dominio vigente (VC)
6. Certificado de inscripción en el Catastro Público de Aguas (VC)
7. Breve descripción de las obras que se solicita aprobar
8. Acompañar el proyecto definitivo de las obras, que comprenderá planos, memorias y otros antecedentes justificativos.

Si la obra, además cumple con un requisito del Artículo 294 del Código de Aguas, la solicitud deberá ser tramitada a Nivel Central y ser sometida al SEIA.

4. Autorización de construcción, modificación, cambio y unificación de bocatomas

Las personas naturales o jurídicas deben efectuar la construcción de obras de captación, según lo establecido en el artículo 151 y siguientes del Código de Aguas, presentando una solicitud de aprobación del proyecto dirigida al Director General de Aguas.

Es necesario ingresar antecedentes legales relacionado con los derechos de aprovechamiento para la aprobación de proyectos de construcción de bocatomas, tales como: Resolución DGA que constituyó originalmente el DAA y sus modificaciones; Inscripción en el Registro de Propiedad de Aguas del respectivo Conservador de Bienes Raíces y Certificado de inscripción en el Catastro Público de Aguas de la DGA.

Además, es necesario incorporar antecedentes técnicos que respalden el proyecto de bocatoma, tales como croquis de ubicación general, memoria descriptiva de las obras, memoria técnica de cálculos hidrológicos e hidráulicos, antecedentes topográficos, entre otros.

Los requisitos de la solicitud de Autorización de Construcción, Modificación, Cambio y Unificación de Bocatomas son los siguientes:

1. El nombre y demás antecedentes para individualizar al solicitante.
2. Ubicación precisa de las obras (coordenadas UTM, Datum)
3. El nombre del cauce natural o artificial, y la provincia
4. La manera en que se extraerán las aguas
5. Identificar los derechos de aprovechamiento asociados a las obras que se pretende ejecutar, con certificación de dominio vigente (VC)
6. Certificado de inscripción en el Catastro Público de Aguas (VC)
7. Breve descripción de las obras que se solicita aprobar
8. Acompañar el proyecto definitivo de las obras, que comprenderá planos, memorias y otros antecedentes justificativos

Si la obra, además cumple con un requisito del Artículo 294 del CA, la solicitud deberá ser tramitada a Nivel Central y ser sometida al SEIA. Además, es necesario que, al momento de la presentación del proyecto, este cuente con los DAA ajustados.

5. Construcción de Obras Hidráulicas

El Código de Aguas norma sobre la autorización de construcción de grandes obras hidráulicas. Esto queda determinado en el artículo 294 del Código de Aguas, que autoriza la construcción de ciertas obras hidráulicas:

- a. Los embalses de capacidad superior a 50 mil m³ o cuyo muro tenga más de 5m de altura.
- b. Los acueductos que conduzcan más de 2 m³/s.
- c. Los acueductos que conduzcan más de 0.5 m³/s, que se proyecten próximos a zonas urbanas y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a 1km y la cota de fondo sea superior a 10m sobre la cota de dicho límite.
- d. Los sifones y canoas que crucen cauces naturales.

Estas obras se enmarcan dentro de los proyectos que deben ingresar al SEIA, de acuerdo con lo establecido en la Ley 19.300, por lo que para su aprobación se requerirá contar con la RCA favorable.

En el caso de las micro-centrales, corresponderían principalmente a las letras b y c del artículo. Quedan exceptuados de cumplir este requisito, los servicios dependientes del Ministerio de Obras Públicas, estos solo deben remitir los proyectos de obra a la DGA para su conocimiento, informe e inclusión en el Catastro Público de Aguas.

Todas las solicitudes antes indicadas presuponen el cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 122 del Código de Aguas, inciso 7, a excepción de la Construcción de Obras Hidráulicas.

Los requisitos de la solicitud de Obras Hidráulicas son los siguientes:

- 1. El nombre y demás antecedentes para individualizar al solicitante.
- 2. Ubicación precisa de las obras (Coordenadas UTM, Datum)
- 3. El nombre del cauce natural o artificial, y la provincia
- 4. La manera en que se extraerán las aguas
- 5. Identificar los derechos de aprovechamiento asociados a las obras que se pretende ejecutar, con certificación de dominio vigente (VC)
- 6. Breve descripción de las obras que se solicita aprobar
- 7. Acompañar el proyecto definitivo de las obras, que comprenderá planos, memorias y otros antecedentes justificativos

El esquema de la figura siguiente es una guía de la tramitación de solicitudes a la DGA o a la Gobernación correspondiente a la localización del proyecto.

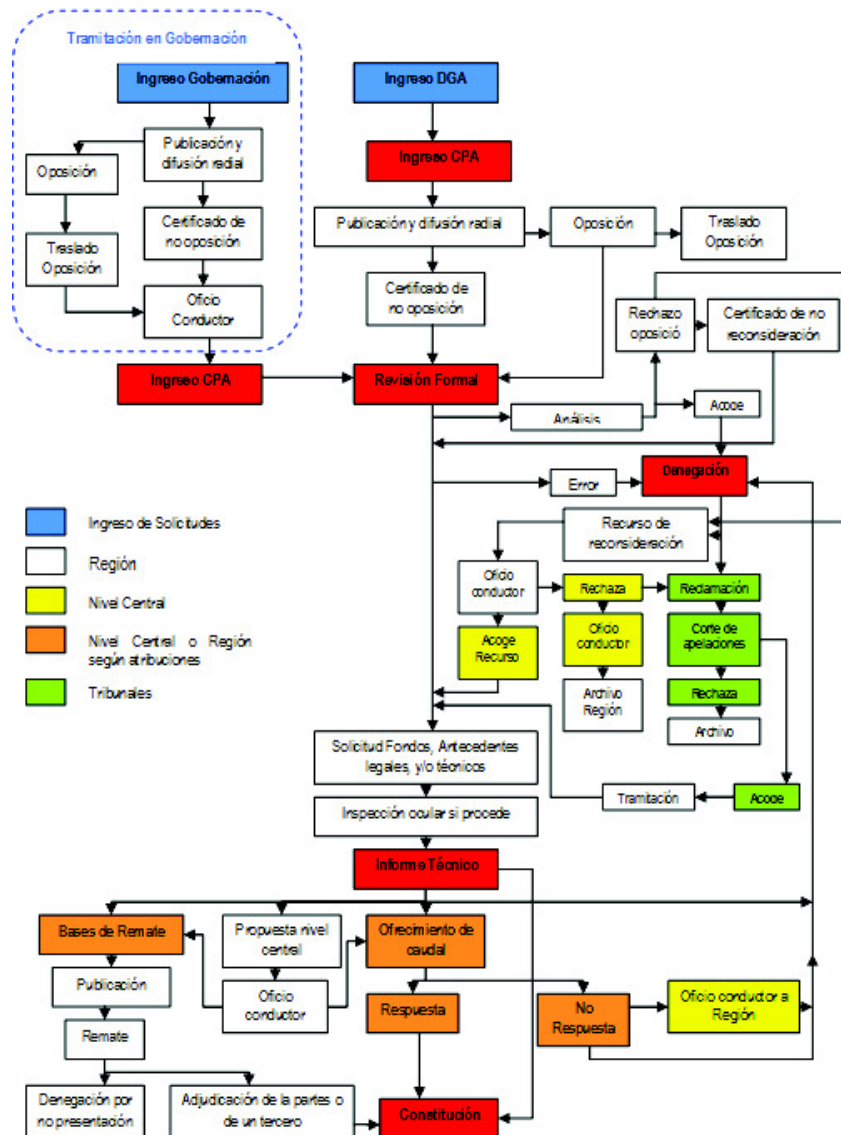


Fig.9.1 – Esquema de tramitación de Solicitudes para el desarrollo de microcentrales hidroeléctricas en el contexto de la Ley 20.571

Fuente: Presentación “Permisos DGA para el desarrollo de Proyectos de Micro-Centrales Hidroeléctricas”. Ing. Laura Hernández, DGA.

9.1.2 Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) y Ley 20.571 de Generación Distribuida

La **Ley 20.571** introduce en Chile la generación distribuida, focalizada en los clientes finales de las empresas de distribución eléctrica. La generación distribuida se ha constituido en una opción de desarrollo de los sistemas eléctricos en los cuales se logra un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos, a la vez que se minimizan los impactos ambientales provocados por los grandes sistemas tradicionales de generación centralizada.

La generación distribuida podría definirse como la modalidad de generación de energía eléctrica en la que se busca generar la energía lo más cerca posible del lugar del consumo, conectándose directamente en las redes de distribución. Estas instalaciones son muy pequeñas con respecto a las grandes centrales de generación de energía.

La **Ley 20.571** tiene por objetivo otorgar a los clientes de las empresas distribuidoras el derecho generar su propia energía eléctrica, autoconsumirla y vender sus excedentes energéticos a las empresas distribuidoras.

Esta Ley entró en vigencia el 22 de octubre de 2014. Ha sido conocida comúnmente como ley de Net-Billing o de Net-Metering debido a las similitudes que ésta tiene con regulaciones extranjeras que utilizan esta denominación, también se le llama **Ley para Generación Distribuida, Generación Ciudadana o Ley de Facturación Neta**. Su nombre oficial es “Ley N° 20.571: Regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales”. Para nuestra realidad es más correcto referirse de manera abreviada como “Ley de Facturación Neta”. El término “Facturación Neta” hace referencia a que en las boletas que las empresas de suministro eléctrico (empresas distribuidoras) entregan a sus clientes se cobra o factura el valor neto resultante de la valorización de los consumos que tenga un Cliente, menos la valorización de sus inyecciones de energía.

Para hacer uso de la Ley se deben utilizar sistemas de generación de energía eléctrica basados en energías renovables no convencionales (ERNC) o de cogeneración eficiente, de hasta 100 kW. Los medios de generación de ERNC, son aquellos que utilizan energía solar (ej: fotovoltaicos), energía hidroeléctrica (hasta 20 MW), energía eólica, de la biomasa, geotermia y de los mares. Por otra parte, las instalaciones de cogeneración eficiente son aquellas en que se genera energía eléctrica y calor en un solo proceso productivo.

Para la ley se requiere un medidor que registre los consumos y las inyecciones de energía en forma separada.

Los costos asociados a la conexión son de tramitación y conexión (aproximadamente 40 y 50 mil pesos, respectivamente). Eventualmente puede haber costos de obras adicionales en la red de distribución.

En la Fig.9.2 se esquematiza el funcionamiento del Net-Billing en el caso de utilizar paneles fotovoltaicos. Como el sistema no contempla almacenamiento en baterías, toda la energía generada es consumida o inyectada a la red.

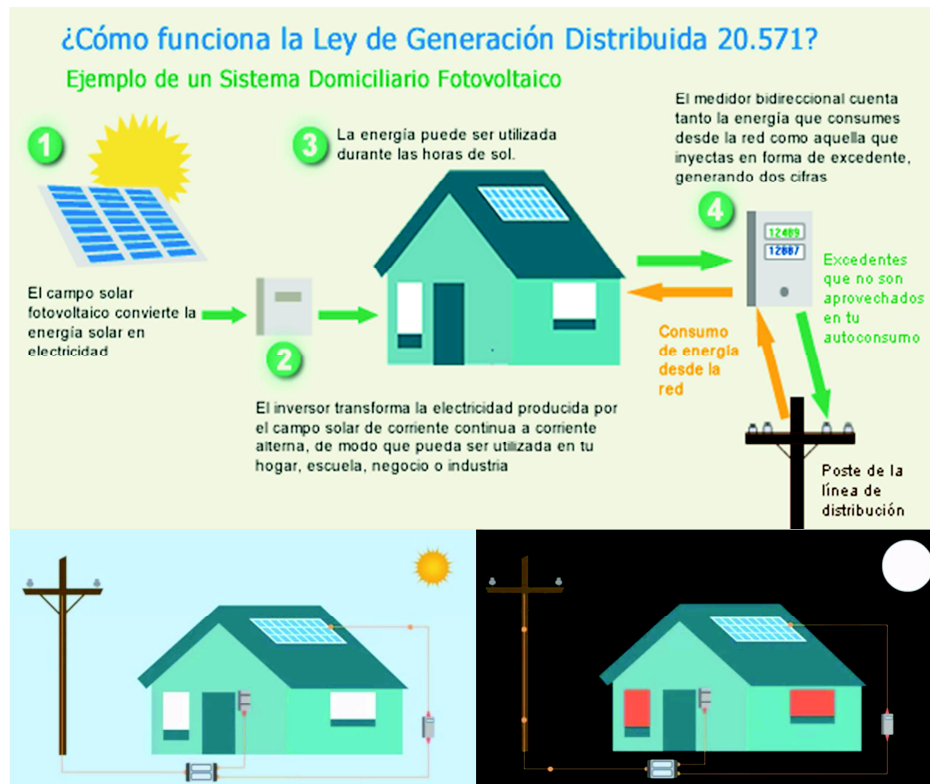


Fig. 9.2 – Operación del esquema de Net-Billing regulado por la Ley 20.571

Los conceptos asociados a esta ley son los siguientes:

- Los usuarios finales sujetos a fijación de precios, que dispongan para su propio consumo de equipamiento de generación de energía eléctrica por medios renovables no convencionales o de instalaciones de cogeneración eficiente, tendrán derecho a inyectar la energía que de esta forma generen a la red de distribución a través de los respectivos empalmes.
- La capacidad instalada por cliente o usuario final no podrá superar los 100 [kW].
- Las inyecciones de energía que se realicen serán valorizadas al precio que los concesionarios de servicio público de distribución traspasan a sus clientes regulados. Dicha valorización deberá incorporar, además, las menores pérdidas eléctricas de la concesionaria de servicio público de distribución asociadas a las inyecciones de energía.
- El valor correspondiente a las inyecciones, será descontado en la boleta de suministro eléctrico correspondiente al mes en el cual se realizaron dichas inyecciones. De existir un saldo a favor del cliente, éste será descontado en las boletas siguientes y reajustados de acuerdo al IPC. Si en el período de tiempo establecido en el contrato (ejemplo 1 año), aún queda saldo a favor del cliente, éste será pagado por medio de vale vista u otro medio (debidamente informando al cliente por carta).

Los principales incentivos para que los contribuyentes se acojan a esta ley como clientes generadores, son los siguientes:

- Sus inyecciones de energía no se considerarán operaciones gravadas por el Impuesto al Valor Agregado (IVA).
- Adicionalmente, los ingresos y las compensaciones que perciban por concepto de la inyección de excedentes, no serán constitutivos de renta.

El **certificado de inyecciones leídas** constituirá título suficiente para **acreditar el atributo ERNC**, que puede ser **traspasado a las empresas** que efectúan retiros.

El esquema siguiente muestra los pasos de la tramitación necesaria para inyectar energía a la red en el contexto de la Ley 20.571.

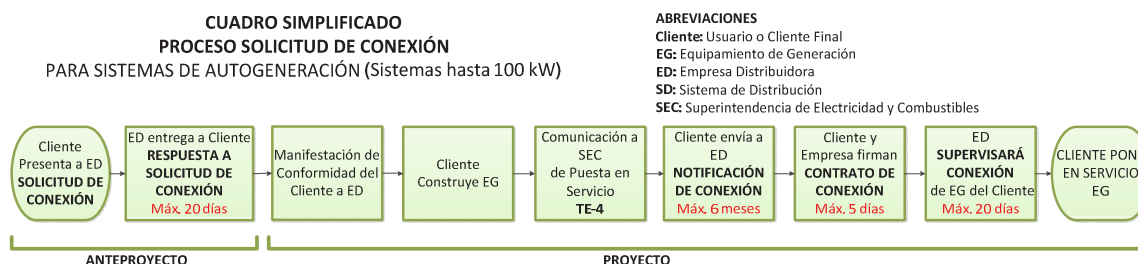


Fig. 9.3 – Tramitación de una Solicitud de Conexión para inyectar energía en el contexto de la Ley 20.571
Fuente: Ministerio de Energía

El **tiempo requerido** para completar un proceso de conexión depende de varios factores. Entre los principales se encuentran el tiempo requerido para la instalación del sistema de generación, el tiempo requerido para adaptar las redes de distribución (de ser necesario) y los tiempos asociados al intercambio de información entre el cliente y la distribuidora. Una instalación que no requiera modificaciones a la red de distribución eléctrica, debería demorar entre 2 y 8 meses, aproximadamente, donde el mayor tiempo lo definirá el plazo de instalación del equipo de generación. En todo caso, el reglamento establece distintos plazos máximos asociados a cada una de las etapas, especificados en el cuadro anterior, a fin de evitar dilaciones innecesarias.

Se puede obtener mayor información en la página web de la SEC, en el siguiente link: http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5819695&_dad=portal&_schema=PORTAL

Nota: Con respecto a instalaciones que presenten una **potencia instalada mayor a 100 kW** y menor o igual a 9 MW, corresponderá aplicar el decreto supremo 244 (DS 244) y la norma técnica de conexión y operación (NTCO) en lo que respecta a condiciones y procedimientos de conexión y operación para **pequeños medios de generación distribuida (PMGD)**.

9.2 Comisión Nacional de Riego (CNR)

9.2.1 Requerimientos de presentación de proyectos a la Ley 18.450

En este capítulo se incluyen los requerimientos técnicos para un proyecto de riego convencional y un proyecto de riego con ERNC.

- **Proyecto de riego convencional**

Estas organizaciones radican su existencia en el Código de Aguas vigente, tal como se contempla en el Título III del Libro II en sus artículos 186 al 293. Esto indica que, si dos o El contenido de los proyectos técnicos de obras civiles o de tecnificación del riego, se ordena de tal manera de describir el proyecto y calcular las variables concursables de superficie y costo.

Los proyectos se ingresan por el consultor al sistema de postulación digital - <http://base-ley-18450.cnr.gob.cl/LEY18450/index.php> - completando los formularios web pertinentes y subiendo archivos digitales en los anexos correspondientes, según se indica en los manuales e instructivos técnicos.

Los Manuales e Instructivos se refieren a obras de: Tecnificación, Conducción, Obras Civiles de Arte, Acumulación, Drenaje y Telemetría.

El proyecto se ordena en capítulos de acuerdo con la numeración de los Manuales Técnicos del Concurso.

Al igual que en la Carpeta Legal, se debe armar una carpeta digital técnica de acuerdo a las bases del concurso respectivo, que se sube al sistema de postulación electrónica y una carpeta técnica física que se entrega en la Dirección de Obras Hidráulicas que corresponda y en la fecha que indique el Concurso. Sin embargo, la carpeta técnica física consiste generalmente solo en la entrega de una copia de los Planos del Proyecto.

La Carpeta Técnica digital significa ingresar al sistema tanto el conjunto de antecedentes y elementos que describen y constituyen el proyecto como los Anexos específicos. Respecto de lo primero, en general estos son:

- Descripción del proyecto
- Disponibilidad de Aguas
- Área de Riego
- Determinación de la Demanda de Agua
- Cálculo de Superficie
- Diseño del Proyecto
- Presupuesto y,
- Cronograma.

En cuanto a los Anexos se refieren a:

- Análisis Hidrológico
- Pruebas de Bombeo, Aforos
- Estudio de Suelo/Informe de Asimilación,
- Diseño de Obras (de Tecnificación y Civiles) ,
- Planos de Obras (Civiles y de Tecnificación),
- Especificaciones Técnicas,
- Estudios y Diseños Complementarios,

- Declaración No Contribuyente IVA,
- Certificado CORFO PIR.

El tamaño de cada archivo no puede superar los 10 MB.

- **Postulación de un proyecto de riego con ERNC**

El Ministerio de Energía y la Comisión Nacional de Riego participan en un convenio que tiene por objetivo la bonificación de proyectos de riego con equipos de generación en base a ERNC, con especial énfasis en microgeneración hidroeléctrica.

Este convenio genera concursos de alcance nacional y a niveles individual y comunitario.

a) **Proyectos de riego individuales**

En este ítem se consideran tres casos sujetos a bonificación:

- Proyectos de riego con autogeneración, intrapredial. La capacidad máxima del equipo está dada por el consumo máximo predial en el mes de máxima demanda.
- Proyectos de riego de autogeneración intrapredial, cuya capacidad máxima del equipo es superior a la demanda máxima predial (se bonificará hasta la demanda predial en el mes de máximo consumo).
- Los dos puntos anteriores con riego instalado, se reemplaza equipos de generación existente (exclusivo para pequeños productores agrícolas INDAP).
- La justificación de los proyectos intraprediales no considera la posible rentabilidad generada por la aplicación de la Ley de generación distribuida.

b) **Proyectos de riego comunitarios**

En este ítem hay dos casos de proyectos susceptibles de bonificación. No aplica a proyectos cuyo objetivo principal es la venta de energía al sistema interconectado.

- Proyecto asociativo de riego con uso de la energía generada en un canal de una OUA en autoconsumo de parte de los comuneros. Requisito: Tipificación, el 50% más uno de los comuneros son del tipo INDAP.
- Proyecto de riego con uso de la energía generada en autoconsumo del 100% de los comuneros.

En cuanto a los requisitos legales se debe considerar que para postular al concurso los postulantes (agricultores) deben cumplir con los requerimientos de tierras y aguas indicados en la Ley 18.450 y su reglamento:

- Aguas: En el caso de tener derechos de agua en trámite, podrán postular con certificado de factibilidad de la DGA. Incluye derechos del tipo no consuntivos.
- Excepción del cumplimiento del art. 294 del Código de Aguas para proyectos que consideren caudales menores a 2 m³/s, a 500 l/s en zonas urbanas, embalses menos 5 m de altura o menos de 50.000 m³ de acumulación.

c. Obras afectas al art 294 del Código de Aguas podrán postular con expediente ingresado a la DGA y Medio Ambiente al momento de la postulación. Estos permisos se requerirán antes del inicio de obras.

d. Permisos de cambio de punto de captación, de bocatoma en trámite, con factibilidad DGA antes del inicio de la construcción de la obra.

El concurso 2016 se enmarca dentro de la agenda energética del gobierno y en especial como aporte al Plan de 100 microcentrales hidroeléctricas que lleva adelante el Ministerio de Energía con el apoyo del Ministerio de Agricultura en el marco de la aplicación de la Ley de Fomento al Riego. Estas centrales deben estar iniciadas o construidas a fines del 2017.

Fecha de publicación de bases: A la fecha de llamado se debe contar con bases, manuales y plazo necesario para realizar la difusión y el diseño de los proyectos. Es decir, se consideran 4 meses antes de la apertura.

Primera fecha estimada: Abril 2016.

Primera fecha de apertura: Julio 2016.

Fecha de entrega de Certificados de Bonificación al Riego y Drenaje (CBRD): 6 meses después de la apertura.

Meta entrega certificados CBRD: Febrero 2017.

Limitantes en tiempo de ejecución de la obra:

1. Autorizaciones y permisos públicos (DGA, Vialidad, DOH, Ambientales, Municipales, Ferrocarriles).

2. Provisión de equipos (turbinas, equipos hidromecánicos), los tiempos de fabricación son mínimo 6 meses, 1 a 1,5 años desde fecha puesta Orden de Compra por tiempos de transporte, instalación y puesta en marcha. Lo anterior debe ser considerado a contar de la bonificación.
Meta autoimpuesta de inicio de construcción de proyectos: primer trimestre del 2017.

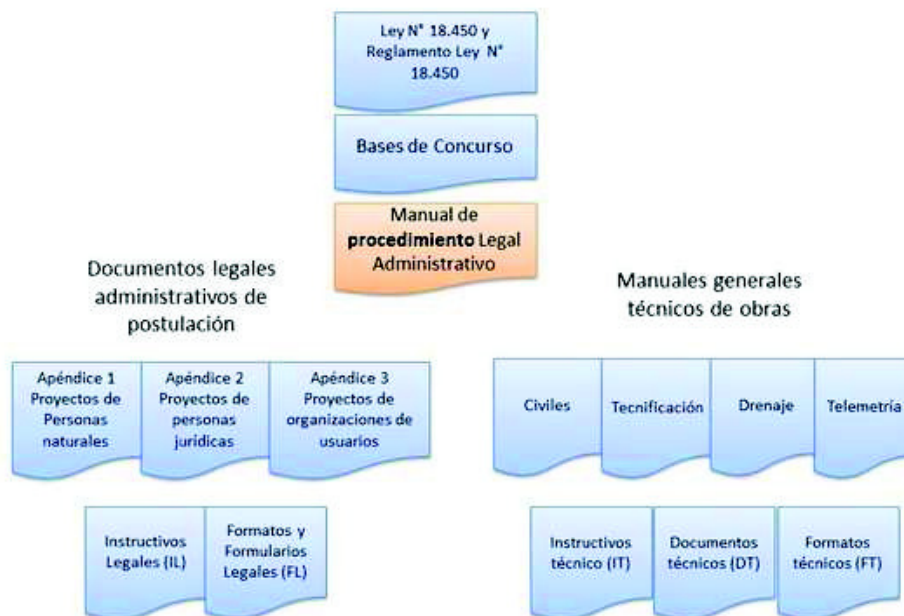


Fig. 9.4 - Documentos legales y administrativos; manuales e instructivos para proyectos CNR.

Fuente: <http://www.cnr.gob.cl/Ley18450/Paginas/Manuales%20e%20Instructivos%20V4.aspx>

9.2.2 Especificaciones Técnicas (EETT) para proyectos de microgeneración hidráulica complementarios a los proyectos de riego (Pauta para su Confección)

Las Especificaciones Técnicas están desarrolladas para sistemas de generación hidroeléctrica que tienen varias opciones de conexión y opciones tecnológicas, las que se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 9.1 - Esquemas de operación para microcentrales hidroeléctricas

Conexión	Generador	Características	Conexión a Red Local
Paralelo a red (On - Grid) ¹	Asíncrono	La central hidroeléctrica opera solo conectada con la red en forma continua. El generador es del tipo motor de inducción que opera como generador empleando la potencia reactiva para la excitación (la red fija la frecuencia de rotación).	Opción de inyectar excedentes de energía a la red de distribución
	Síncrono	El generador de la microcentral es autoexcitado y opera en forma continua	Opción de inyectar excedentes de energía a la red de distribución
	Síncrono	El generador de la microcentral es autoexcitado y opera en forma continua. En una primera etapa un convertidor transforma CA en CD y luego un inversor convierte CD en AC para entregar a la red , importando y exportando en la opción de net - billing (medidor bidireccional)	Opción de inyectar excedentes de energía a la red de distribución
Stand-by (On - grid) ¹	Asíncrono	La central hidroeléctrica opera solo conectada con la red. La central hidroeléctrica puede conectarse en forma manual para energizar la impulsión del regadío.	Opción de inyectar excedentes de energía a la red de distribución
	Síncrono	La central hidroeléctrica tiene un generador autoexcitado y puede conectarse en forma intermitente (manual ó automática) para energizar la impulsión del regadío.	Opción de inyectar excedentes de energía a la red de distribución
Isla (Off - Grid)	Síncrono	La central hidroeléctrica opera en modo isla para los requerimientos de riego y opcionalmente otras cargas; es la alternativa más común cuando no hay red acceso a red eléctrica	No

¹ Requiere Protección RI para desconectarse - exigencia de normativa de SEC - cuando al menos un valor de operación de la red de distribución se encuentra fuera del rango de ajuste de esta protección

NOTA: Esta especificación técnica está desarrollada para equipos en corriente alterna (monofásica o trifásica) para potencias superiores a 10 kW; bajo esta potencia el proyectista generará una especificación técnica.

A) General

Este acápite presenta una pauta para las Especificaciones Técnicas de proyectos de microcentrales hidroeléctricas de potencias menores a 100 [kW], asociados o complementarios a proyectos de riego.

Se presenta a continuación una Especificación Técnica tipo y a modo referencial, la que debe ser adaptada por el Consultor al proyecto particular encomendado.

B) Informe

Se incluirá un informe consolidado del proyecto que será la base para la construcción de la obra y tendrá toda la información para la construcción de la obra; los cambios o replanteos que se hagan por necesidades de terreno u otras deberán establecerse por escrito y contar con la autorización del proyectista o bien del ITO de la obra y de la STO² de la CNR (cuando corresponda), antes de ser ejecutados por el Contratista.

El informe tendrá como anexos los planos, especificaciones técnicas mecánicas, eléctricas, de obras civiles e hidráulicas, estudio hidrológico, mecánica de suelos, etc., según corresponda.

C) Memorias de cálculo

Los documentos y planos del proyecto estarán basados en memorias de cálculo ordenadas y comprensibles que incluirán los cálculos hidráulicos, estructurales, eléctricos, mecánicos, de selección de turbina o comprobación de la turbina existente, etc., según corresponda.

² STO Supervisión Técnica de la Obra dependiente de la CNR cuando el proyecto esté postulando a la bonificación de la Ley 18.450

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

SECCION I – GENERALIDADES

1.0 ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN GENERAL.

Esta Especificación Técnica, servirá para la provisión de materiales y equipos, instalación, montaje y construcciones civiles y eléctricas para la Microcentral Hidroeléctrica

Ubicación

El sitio del proyecto se encuentra en la localidad de, Provincia de, Comuna de, Región de

Tabla- Localización de puntos de captación y restitución en cauce

Vértice	Coordenadas UTM				Altura [m s.n.m.]
	DATUM 56 HUSO		DATUM 84 HUSO		
	Norte [m]	Este [m]	Norte [m]	Este [m]	
Captación					
Restitución					

1.1 INFORMACION DEL PROYECTO.

1.1.1 Diseño final.

El estudio a Diseño Final, ha sido elaborado por la empresapor encargo de la Comisión Nacional de Riego (CNR) sobre la base de los antecedentes suministrados y los Términos de Referencia del proyecto

1.1.2 Normas técnicas generales.

Durante la ejecución de las obras, el Contratista deberá cumplir con: Normas del Instituto Chileno del Hormigón, Normas chilenas NCh aplicables, Reglamento de Instalaciones Eléctricas de SEC y normas de C.G.E. En los casos en que sea necesario, para resolver

aspectos técnicos no contemplados las normas y especificaciones chilenas, éstas se complementarán con normas extranjeras de reconocido prestigio internacional, tales como las siguientes normas de los Estados Unidos de América:

- ACI, ASTM, AISC, AWS, Normas del Bureau of Reclamation, entre las que se menciona el Manual del Hormigón (Concrete Manual) y
- Normas Europeas: DIN, Comité Europeo de Hormigón.

También son válidos, criterios generalmente aceptados en diseños de ingeniería en las especialidades civil, mecánica y eléctrica.

El Contratista podrá proponer otras Normas, o Especificaciones Técnicas de nivel de exigencias técnicas igual o superior a las de las sugeridas en este documento; estas Normas y/o Especificaciones deberán ser aprobadas por la I.T.O. con anterioridad a su utilización. La proposición aludida deberá ser presentada por lo menos dos meses antes de su utilización.

En el caso de discrepancia entre normas y otros documentos técnicos, se establece el siguiente orden de prevalencia:

- 1º Planos del Proyecto
- 2º Especificaciones Técnicas
- 3º Bases de Medición y Pago (B.M.P.)
- 4º Normas Chilenas del Instituto Nacional de Normalización (I.N.N.)
- 5º Especificaciones de Construcción, Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad (MOP).
- 6º Normas Extranjeras aprobadas por la I.T.O.

En todo caso, los planos del proyecto primarán sobre las especificaciones y dentro de los planos, las cotas primarán sobre los dibujos. Si aún persistieran dudas, será la I.T.O. la que en forma inapelable resolverá las discrepancias.

1.1.3 Libro de Obra de la Construcción de la Central

Deberá quedar registro de los pormenores de instalación de la MCH en un libro de obras, independiente del libro de obras del sistema de riego.

1.1.4 Planos

Se confeccionarán planos de las obras con suficiente detalle para la correcta ejecución, considerándose como básico a entregar lo siguiente:

- Planos topográficos de planta y perfil longitudinal de los levantamientos.
- Plano de disposición general de la MCH, con indicación de BT, zona de caída, aducción, tubería de presión, casa de máquinas, caminos y senderos, etc.
- Planos de obras hidráulicas, trazado y excavaciones del sistema de aducción.
- Planos de formas y armaduras de todas las obras de arte a proyectar: bocatoma, desarenador, cámara de carga, tubería de presión, chimenea de equilibrio (*si corresponde*), sifones, canoas y canal de restitución.
- Planos de detalles de rejas, compuertas, insertos metálicos, etc.
- Planos de casa de máquinas y de disposición general en ésta de los equipos electromecánicos y equipos auxiliares, sistema de control, tableros eléctricos, etc.

- Planos de emplazamiento de obras, de conducción y distribución eléctrica y trazado y construcción de senderos nuevos y de faenas, indicando predios afectados con sus roles de bienes raíces, nombre de propietarios y superficie de servidumbres de emplazamiento y de tránsito requeridas, cuando corresponda.
- Planos de trazado y construcción o reconstrucción de la línea de distribución eléctrica, con el transformador BT/MT y todos los postes y accesorios necesarios según la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

Se confeccionarán los planos de Ingeniería Eléctrica necesarios, según normas técnicas y Reglamento Eléctrico vigentes.

- Diagramas unilineales del sistema eléctrico a instalar en la CM, indicando alimentador, dispositivos de mando, tableros, generador, equipos de control, protección y mediciones, etc.
- Planos de interconexiones y canalizaciones entre equipos (generador, tableros, transformador, servicios auxiliares, alumbrado, etc., en CM.
- Plano de alambrado de tablero general de fuerza y control, indicando barras, protecciones, tierras de protección y servicio.
- Plano de mallas de puesta a tierra y pararrayos.

Los planos deberán indicar el número de la revisión y la fecha de emisión. Cada modificación durante el desarrollo del proyecto generará una nueva versión con el número de revisión correlativo correspondiente (Rev. 0, 2, etc.)

Los planos de proyecto son los siguientes:

Nº de Plano	Contenido	Rev. Nº

1.1.5 Planos "tal como se construyó".

El Contratista, tiene la obligación de llevar un control de todas las modificaciones ordenadas por la ITO, con objeto de presentar al final de la construcción los planos modificados y adecuados "tal como se construyó", en un original reproducible y 3 copias.

Estos planos serán los que permitirán a la CNR realizar la Recepción Definitiva de la Obra.

1.1.6 Denominación de participantes.

Se deberán identificar claramente cada uno de los participantes:

- **Beneficiario:** Se entiende por tal la persona natural o jurídica que es sujeto del beneficio del subsidio.
- **Consultor:** Profesional u empresa consultora de ingeniería que realiza el estudio y proyecto para la microcentral hidroeléctrica. Deberá estar inscrito en el Registro

Público Nacional de la Comisión Nacional de Riego. Presenta el proyecto a Concurso y da seguimiento a los procesos administrativos desde la postulación hasta el pago de bonificación, siendo para estos efectos interlocutor del postulante ante la Comisión.

- **Contratista:** Empresa que ejecutará la obra. Tendrá la responsabilidad legal y técnica del suministro e instalación de equipos y construcción de obras civiles y eléctricas de la MCH.
- **ITO:** Persona natural o jurídica inscrita en el área de Inspección y Supervisión del Registro que, por cuenta del Beneficiario, verifica que las obras se ejecuten conforme a las normas de construcción aplicables, a los permisos requeridos y a los documentos técnicos del proyecto aprobado.
- **Supervisor Técnico de Obra (STO):** Profesional del rubro de la construcción, dependiente de la Comisión, que mediante visitas aleatorias en terreno, verifica que las labores de construcción se ejecuten de conformidad a lo establecido en el proyecto aprobado y bonificado. Para obras que superen las 30.000 unidades de fomento de costo de ejecución, el STO deberá verificar que la inspección y la recepción técnica se ejecuten de conformidad a los parámetros y condiciones establecidas en la Ley, en el Reglamento y en las bases del concurso.

1.2 ALCANCE DEL TRABAJO.

El alcance global del trabajo comprende lo siguiente:

- Suministro del equipamiento electromecánico de la Microcentral Hidroeléctrica (MCH).
- Provisión de diseños a detalles constructivos, planos y construcción de las obras civiles.
- Montaje de los equipos electromecánicos (turbina, generador, regulador, tableros, etc.).
- Tendido eléctrico de distribución entre Casa de Máquinas y las construcciones o red eléctrica definida en el proyecto.
- Instalación eléctrica en la Casa de Máquinas.
- Realización de pruebas de funcionamiento.
- Puesta en servicio.

1.2.1 Diseño y tipo de aprovisionamiento.

El Contratista podrá formular en su oferta las alternativas adecuadas de acuerdo al tipo de equipamiento y al precio de éstos; para ello deberán recogerse las ofertas de fabricantes con experiencia y solvencia técnica y económica reconocida.

El Contratista será el responsable de la ejecución de las siguientes obras de construcción: obras civiles, obras eléctricas, montaje equipo electromecánico de la MCH y tableros de fuerza y control.

El suministro del sistema comprende: provisión de los equipos electromecánicos (turbina, generador, regulador, etc.), tableros de control, accesorios y todo material que aunque no esté expresamente mencionado en las especificaciones, garantice el montaje y correcto funcionamiento, control y protección del sistema, de tal manera que el sistema proporcione energía eléctrica, de acuerdo a los parámetros y datos técnicos proporcionados en este documento y los planos correspondientes.

La recepción del equipo eléctrico a suministrar, se realizará en el lugar de su instalación puesto en obra, razón por la cual el Contratista deberá prever los gastos de transporte, seguros, etc., que sean necesarios.

La Entidad Ejecutora no suministrará ningún material, equipo, instrumento, aparato, insumos u otros bienes que fueren necesarios para el montaje y puesta en servicio del sistema eléctrico; tampoco para la ejecución de las obras. Por lo tanto el Contratista deberá tomar sus propias provisiones, a fin que no le falte ningún material. No se aceptarán "aumentos de obra", salvo a petición expresa de la Entidad Ejecutora.

El Contratista es el responsable de la recepción, conservación y almacenamiento de los equipos que suministrará e instalará. El mismo deberá verificar oportunamente a tiempo de recibir los equipos y materiales adquiridos para el proyecto, en cuanto a la calidad, cantidad, características técnicas y datos de placa. El Contratista será responsable de la carga, manipuleo, almacenamiento, seguro contra daños, pérdidas o robos. Deberá también protegerlos contra condiciones ambientales adversas. Cualquier material, equipo dañado o que de alguna manera resulte inaceptable para la ITO, deberá ser retirado del lugar de la obra, aun cuando no hubiera una instrucción expresa en ese sentido.

1.2.2 Montaje.

Antes del inicio de las faenas de montaje, el Contratista deberá presentar para aprobación de la ITO las instrucciones para el montaje, pruebas y puesta en servicio de los equipos suministrados. El montaje deberá ejecutarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante de los equipos y con los planos aprobados.

Las faenas de montaje de los equipos deberán ser visadas por el Proveedor o fabricante desde el inicio del montaje hasta la puesta en servicio de los mismos.

Las instrucciones de montaje que debe entregar el Contratista incluirán las listas de controles, verificaciones y pruebas que se efectuarán a los equipos. Los controles básicos que deberán ser ejecutados por el Contratista en presencia de la ITO son:

- Alineamiento de los ejes
- Nivelación de la base del grupo turbina-generador
- Control visual de los descansos
- Control visual de los sellos

- Sentido de giro
- Calidad de terminación de las superficies del equipamiento
- Control del apriete de los pernos se efectúe según la secuencia y método indicado por el fabricante en las instrucciones de montaje.

Todos los controles, exámenes y pruebas aprobadas en la lista de controles, deberán ser realizados por el Contratista y entregados a la ITO. La ITO podrá controlar y verificar por su cuenta o podrá solicitar su repetición en caso de duda.

El Contratista deberá respetar los planos e indicaciones constructivas de las fundaciones y ejecutar las mismas, para proceder luego con el montaje de los equipos y sus complementos, contando con sus respectivos espacios de drenaje que eviten inundaciones en el interior de la Casa de Máquinas. Toda la documentación necesaria se deberá poner a disposición de la ITO. El suministro de esta información será dependiente del documento a suscribirse con el proveedor de los equipos. En los precios de la oferta, el Contratista deberá incluir todos los gastos necesarios de materiales y mano de obra requerida para la ejecución hasta la conclusión de la misma. Cada ítem debe estar respaldado con su correspondiente análisis de precios unitarios; estos precios también cubrirán posibles gastos de adaptaciones durante la instalación.

Por esta especificación, aunque no esté expresamente requerido en cada caso, el Contratista deberá realizar los siguientes trabajos: recepción, descarga, transporte, conservación y almacenamiento de materiales, equipos y otros bienes contratados por la Entidad Ejecutora (estos bienes serán entregados bajo inventario); montaje de los equipos electromecánicos; instalación de tableros de distribución y protección eléctricos; instalación de las tierras de protección y servicio de los diferentes equipos (generador, tablero, etc.); ejecución de las obras civiles necesarias, casa de máquinas, tubería de presión, canal de restitución, fundación de Hº Aº para el equipo turbogenerador, sujeción de los tableros de control, etc.; ejecución de instalaciones eléctricas entre elementos y de iluminación tanto en el interior como exterior de la Casa de Máquinas; de igual forma la presentación de planos "tal como se construyó", así como de planillas de cableado y conexiones.

1.2.3 Pruebas y puesta en servicio

El Contratista o el Proveedor deberán elaborar un procedimiento para la ejecución de las pruebas y puesta en servicio de los equipos, el que será sometido a la aprobación de la ITO. Para comprobar las condiciones de operación de los equipos, el Contratista o el Proveedor deberán efectuar durante la puesta en servicio pruebas para cada uno de ellos.

El sistema eléctrico se pondrá en funcionamiento, solamente después de haber realizado las siguientes pruebas:

- Comprobación de nivelación entre elementos constitutivos del grupo electromecánico, de acuerdo a especificaciones de los fabricantes.
- Pruebas de generación de los equipos electromecánicos de la MCH.
- Pruebas y ensayos de pre-energización y post-energización de los sistemas eléctricos instalados.

Una vez que la MCH entre en funcionamiento, se verificará el perfecto funcionamiento durante un periodo de 720 horas (30 días). Este periodo será considerado de pruebas y solamente al final del mismo se realizará la entrega de la obra. Todos los instrumentos y

dispositivos necesarios para la ejecución de las pruebas serán de responsabilidad del Contratista o el Proveedor de los equipos.

En caso que no se cumplan las condiciones de diseño garantizadas por las curvas características suministrada por el proveedor de los equipos, los equipos serán rechazados y se aplicarán las condiciones y multas establecidas en el Contrato respectivo.

1.2.4 Funcionamiento previo a la entrega

Una vez que la MCH entre en funcionamiento, se verificará el perfecto funcionamiento durante un periodo de 720 horas (60 días). Este periodo será considerado de pruebas y solamente al final del mismo se realizará la entrega de la obra.

1.2.5 Repuestos y herramientas

El Fabricante del grupo hidroeléctrico suministrará un juego completo de herramientas para el montaje y mantenimiento, como también los repuestos mínimos que deben mantenerse en stock para 2 años de operación normal.

1.2.6 Manual de operación y mantenimiento

Deberá incluirse un manual de operación y mantenimiento en español, además la rutina de operación y mantenimiento con su frecuencia dispuesta en forma visible en la casa de máquinas.

1.2.7 Aseguramiento de la Calidad y Garantía

El Fabricante o Proveedor del grupo hidroeléctrico deberá indicar su Método de Aseguramiento de la Calidad (por ejemplo, basado en la norma ISO 9000-2000) y otorgar una Póliza de Garantía con el suministro.

1.3 Capacitación de operadores

El Contratista deberá consultar en su presupuesto la capacitación de un mínimo de dos operadores de la MCH. Durante la construcción de obras y faenas de montaje de equipos electromecánicos y redes eléctricas, los operadores designados deberán participar activamente en las faenas, con dedicación de tiempo adecuada y programada de acuerdo con sus actividades normales para recibir la capacitación sobre operación y mantenimiento de los equipos.

La capacitación deberá ser efectuada por un Ingeniero o Técnico Eléctrico del Contratista de la obra, sobre la base de un instructivo preparado previamente para el efecto.

1.3.1 Objetivos

Los objetivos y tipo de capacitación será el adecuado para que los operadores adquieran los conocimientos y conceptos necesarios y suficientes para operar la MCH en forma segura y lograr su sostenibilidad. La capacitación deberá comprender una parte teórica y una práctica.

1.3.2 Metodología

La metodología a aplicar será la siguiente:

- Explicaciones sobre electrotecnia general: conceptos de tensión, corriente, frecuencia, cómo funciona el generador y su relación con la turbina como máquina fluido dinámica operadora.
- Descripción y funciones del tablero de fuerza y control, del regulador de carga y frecuencia y de la carga lastre. Explicación sobre las funciones de sus componentes y accesorios.
- Operaciones de las válvulas durante la puesta en servicio y la detención de la MCH; concepto de golpe de ariete, su relación con el tiempo de cierre y apertura de las válvulas de la turbina y su influencia en la integridad de la tubería de presión.
- Conceptos sobre redes de distribución, transformadores, fusibles y medidores. Lectura de medidores.
- Conceptos sobre mantenimiento preventivo de turbina y generador, lubricación y cambio de rodamientos, alineamiento de poleas tensión de correas de transmisión.
- Análisis exhaustivo y detallado del Manual de Operación y Mantenimiento de la MCH.

1.3.3 Duración y Costo de la Capacitación

El tiempo mínimo de capacitación será de 24 horas totales repartidas convenientemente durante las etapas de montaje y puesta en servicio de la MCH. El costo de la capacitación deberá considerarse incluido en el costo del proyecto.

1.4 PREVENCIÓN DE RIESGOS

1.4.1 Generalidades

El Contratista será responsable de determinar las precauciones y proveer los materiales y artefactos, dispositivos o implementos de seguridad y prevención de riesgos necesarios para la protección de la vida de las personas y de la propiedad.

En caso de trabajos de riesgo especiales, el Contratista someterá a la aprobación de la Entidad Ejecutora, por lo menos 10 días antes de la fecha tentativa de iniciación del trabajo, un programa detallado de la forma en que se ejecutará tal trabajo y las precauciones y medidas de seguridad consideradas para su ejecución. La aprobación de dichos programas por la Entidad Ejecutora no libera al Contratista de su responsabilidad por la seguridad de su personal, de los pobladores y de las instalaciones.

La Entidad Ejecutora, podrá ordenar al Contratista la paralización de cualquier trabajo, si en opinión de la ITO cualquier funcionario del propietario, dicho trabajo está siendo ejecutado de modo que se ponga en peligro la vida, la propiedad o el servicio que se presta a otras instalaciones. El hecho de que la Entidad Ejecutora, no ordene tal paralización del trabajo, no libera al Contratista de su responsabilidad al respecto.

1.4.2 Normas

El Contratista deberá cumplir y hacer cumplir todas las leyes, normas y reglamentos de la legislación chilena sobre prevención de riesgos y seguridad que sean aplicables para salvaguardar al público, su personal y terceros que trabajen en las construcciones. El Contratista también deberá cumplir con todas las medidas de seguridad que indique la ITO, tanto en los programas de trabajo, como durante la ejecución de la obra.

En todos los frentes de trabajo, el Contratista proporcionará y mantendrá en un lugar fácilmente accesible, un botiquín de primeros auxilios con vendas y los medicamentos más importantes. Si no dispone del funcionario especializado, por lo menos un miembro de su personal estará calificado en la administración de primeros auxilios.

1.5 PREVISIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.

1.5.1 Transporte.

El Contratista será responsable por el transporte de los equipos y materiales desde el lugar de entrega hasta el sitio de obras. Con la oferta, deberá entregar una descripción de los métodos de transporte que utilizará desde los distintos lugares de entrega al lugar de la obra. Se deberá preservar los embalajes de cualquier daño durante el transporte, considerando las faenas de carga en lugar de entrega, de eventual transbordo y de descarga en el lugar de la obra. Se deberá evitar pérdidas y daños durante el transporte y almacenamiento.

1.5.2 Pruebas y puesta en operación.

El Contratista, tendrá la responsabilidad completa de todas las pruebas en obra, así mismo será responsable de todas las acciones relacionadas con tales pruebas. El Contratista deberá notificar por escrito, a la Entidad Ejecutora, que los trabajos se encuentran concluidos y que es posible iniciar las pruebas.

Todos los costos de las pruebas, contractualmente definidas, los trabajos y acciones en relación con ellas, las disposiciones requeridas para efectuarlas, los instrumentos y equipos de prueba, la realización y envío de los certificados de pruebas, etc., serán de cargo del Contratista y deberán incluirse en el monto total de su propuesta.

1.5.3 Recepción provisional.

Después de las pruebas de rigor, puesta en servicio y operación experimental satisfactoria, se podrán elaborar los Certificados de Recepción Provisional de las obras en los que se incluirá cualquier observación realizada por la Entidad Ejecutora y que deberá ser reformada o corregida en un plazo no mayor a 60 días. Al terminar dicho plazo se realizará la recepción definitiva.

1.6 GARANTÍA Y RESPONSABILIDADES

1.6.1 Garantías.

El Contratista, sin ser limitativo, garantizará lo siguiente:

- Elaboración de documentos, planos “según lo construido” y copias de acuerdo a las especificaciones y al texto del contrato.
- Construcción y montaje de la obra completa.
- Realización de todas las pruebas de la MCH y obras.
- Observación de todas las regulaciones locales y de prevención de riesgos.
- Envío de documentos, planos y copias.
- Cumplimiento de las fechas de terminaciones, según el Cronograma.

El periodo para la conclusión, de acuerdo al Contrato, se contará desde la fecha de firma del Contrato hasta la fecha de entrega del Certificado de Recepción Provisional. El Contratista garantizará la información de asuntos importantes a la Entidad Ejecutora, completa y correctamente y en forma inmediata de todos los hechos concernientes a la obra, especialmente de lo siguiente:

- Material, equipo o instalaciones falladas o defectuosas.
- Accidentes en la obra, relacionados en el proyecto.
- Todo lo que pudiese influir en las obligaciones del Contratista y la ejecución de las obras.
- Retrasos esperados y efectivos, debido a demoras en la construcción y montaje.

1.6.2 Periodo de Garantía.

En la fecha efectiva del Certificado de Recepción Provisional comienza el Periodo de Garantía, que incluye la operación de prueba.

El periodo de garantía efectiva se considerará de 8.760 horas de funcionamiento continuo de todo el equipo eléctrico y electromecánico, o un año calendario.

El Contratista garantizará por este periodo, el perfecto funcionamiento, sin fallas ni defectos, de todas las partes del sistema.

1.6.3 Responsabilidades.

El Contratista, tendrá la responsabilidad completa sobre todas las acciones y actividades del personal empleado y/o trabajando para él, especialmente si tales acciones y actividades se encuentran en conflicto con las leyes, la seguridad propia, la Entidad Ejecutora y/o las regulaciones locales.

SECCION II - ESPECIFICACIONES TECNICAS

Esta sección detalla los requerimientos de cada uno de los elementos que serán suministrados, instalados y/o montados. Esta sección se divide en:

- Especificaciones de suministro.
- Especificaciones de montaje.
- Especificaciones de obras civiles.
- Especificaciones particulares de equipos
- Especificaciones obras eléctricas

2.1 ESPECIFICACIONES DE SUMINISTRO.

2.1.1 Microcentral Hidroeléctrica

El sistema comprende lo siguiente: turbina, generador, regulador electrónico de carga, carga lastre y tablero eléctrico de la MCH.

Los datos de las siguientes tablas son valores mínimos en los que se basará el Contratista para presentar su oferta, debiendo considerar la mejor relación precio/potencia instalada y buscando lograr un máximo aprovechamiento del recurso hídrico disponible.

2.1.2 Grupo turbogenerador.

Los equipos de generación están diseñados y construidos para trabajar bajo las siguientes condiciones de servicio:

- Altitud de emplazamiento: [m s.n.m.]
- Temperatura operación: Máx.°C; Mín.....°C
- Humedad relativa: Max.....%; Mín.....%
- Condiciones sísmicas: g horizontal; g vertical; ciclos/s

2.1.2.1 Turbina

La selección de la turbina ha considerado los siguientes:

Nº	Descripción	Datos
1	Altura de caída bruta Hb (m)	
2	Altura de pérdidas Hp (m)	
3	Altura de carga neta $H_n (m) = H_b - H_p$	
4	Caudal de diseño Qd (m ³ /s)	
5	Eficiencia min. de la turbina %	
6	Potencia en el eje kW	
7	Eficiencia global mínima %	
8	Velocidad de rotación generador RPM	
9	Velocidad específica turbina Ns	s/proveedor
10	Potencia mínima en bornes de generador Pg (kW)	

La turbina requerida es del tipo (*flujo cruzado, axial, Kaplan o Semi-Kaplan, según proyecto particular*). El oferente debe garantizar la potencia mecánica especificada en eje de la turbina, considerada como mínima y la potencia en bornes de generador. Podrá ser una turbina marca....., modelo o equivalente.

El fabricante entregará las características y especificaciones de los siguientes componentes de la instalación, en los términos que se indican:

Carcasa: tipo de material (*acero carbono, acero inoxidable u otro*)

Rodete: tipo de material (*acero carbono, acero inoxidable u otro*)

Eje: tipo de material (*acero carbono, acero inoxidable u otro*).

Válvula reguladora de flujo: especificar el mecanismo de accionamiento del inyector de admisión a la entrada del rodete (*turbinas de acción*) o cierre de álabes en la periferia del rodete (*turbinas de reacción*)

Empaquetaduras: Tipo de material a especificar

Pieza de entrada: Dimensiones (a especificar)

Bastidor-base: Tipo de material (a especificar).

Acoplamiento turbina-generador: de preferencia directo, con machón de acoplamiento de tipo elástico; en caso de emplear multiplicador especificar sus características y si es enfriado por circuito de agua se deberán especificar los requerimientos (caudal y presión de trabajo).

Protección anticorrosiva carcasa y bastidor: Pintura epóxica con imprimante anticorrosivo y esmalte final, espesor total mínimo 250 micrones, aplicado sobre arenado, según SSPC-SP5.

Se deberá adjuntar catálogo con las especificaciones técnicas, fotografía y el manual de operación y mantenimiento en español.

2.1.2.2 Generador

El generador, acoplado a la turbina de forma directa o indirecta, tendrá las siguientes características:

Nº	Descripción	Datos
1	Generador	Sincrónico o asincrónico, trifásico
2	Potencia mínima kVA	
3	Factor de potencia	0,80
4	Frecuencia Hz	50
5	Tensión V	380/220
6	Aislamiento	Clase F
7	Grado de protección	IP 23
8	Enfriamiento	Aire
9	Sobrecarga permisible	1,5*In durante 10 min
10	Desbalanceo de carga admisible	20% entre fases
11	Regulación de voltaje	Automática
12	Régimen de trabajo	Continuo
13	Velocidad nominal RPM	1.500
14	Velocidad de embalamiento	1,8 a 2 Vnominal
15	Modo de montaje	Eje horizontal o vertical
16	Altura de operación m.s.n.m.	
17	Temperatura de trabajo °C	20

La conexión de los bobinados del generador deberá ser en estrella con neutro accesible y conectado a tierra.

2.1.2.3 Regulador electrónico de carga

El regulador electrónico de carga y frecuencia será del tipo 'derivador de carga', mono o trifásico, para 220 ó 380 [V] - según la potencia de la turbina - de estado sólido con triacs o transistores de potencia, con gabinete de protección mínima IP 21, regleta de conexiones para recibir los conductores desde el generador y regleta de conexiones para las resistencias de la carga lastre. Tendrá lámparas piloto "led" indicadoras, una por cada resistencia de carga lastre, para la observación del estado de operación.

El regulador deberá mantener constante la frecuencia en 50 Hz, en forma automática y permanente, transfiriendo la energía no consumida por la red (carga principal) a un banco de resistencias (carga secundaria o carga lastre) de manera de mantener la carga eléctrica constante en el generador. La variación máxima admisible para la frecuencia durante la operación será 50 ± 2 Hz.

Podrá ser marca....., modelo..... o equivalente.

2.1.2.4 Tablero eléctrico de control, medición y protección

Se consultarán tableros eléctricos de las siguientes características:

Especificaciones generales

Constituido por gabinetes con puertas de acceso con burletes; grado de protección IP 44. El esquema de protección anticorrosiva y esmalte de terminación será adecuado para ambiente marino. El tablero eléctrico 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. Los conductores serán con aislamiento tipo THW para temperatura de 75°C.

Los instrumentos de medida serán del tipo empotrado, protección IEC IP54 y precisión 1,5 según VDE 0410, a escala total, con ajuste exterior de 0. La alimentación de diseño será 220 V y 50 Hz.

Se consultarán indicadores luminosos para señalar las posiciones de los dispositivos de control y monitoreo, los que deberán encenderse cada vez que haya discordancia entre la posición del conmutador de mando y la del equipo o dispositivo comandado. Las fallas se señalarán asimismo mediante indicadores luminosos. Adicionalmente se consultará un dispositivo de alarma sonora montado en la cubierta superior del gabinete, de accionamiento enclavado con las señalizaciones de falla.

- **Equipamiento**

El tablero contará con un panel para alojar los siguientes dispositivos e instrumentos - medición analógica y/o digital (especificar) - para las funciones específicas indicadas:

- Amperímetros (1 por fase)
- Horómetro
- Voltímetros (1 por fase)
- Frecuencímetro
- Medición potencia activa
- Medición potencia reactiva
- Medición de demanda máxima
- Medición energía activa
- Medición de factor de potencia

- **Señalización**

Se proveerá un panel de señalización con diodos de luz de indicación de estado de operación de los relés.

- **Protección**

La protección se efectuará por medio de relés de protección para las siguientes funciones:

- Tensión mínima;

- Intensidad máxima;
- Sub-frecuencia;
- Sobre-frecuencia;

- **Transformadores y seccionamiento**

Se especificarán transformadores de corriente (precisión y relación de transformación para sistemas de medición; relés; etc.).

2.1.2.5 Válvula principal

Será del tipo mariposa, con diseño que minimice las perturbaciones del escurrimiento del agua y la pérdida de carga regular. Los sellos serán de poliuretano o buna-N. Deberá consultarse una válvula tipo globo para "bypass", de accionamiento manual, para facilitar la apertura manual de la válvula de mariposa. Se consultará además el suministro de una junta de expansión para instalar entre la válvula y la turbina y una reducción para el empalme con la tubería de presión.

2.2 ESPECIFICACIONES DE MONTAJE

Los ítems que se consideran en esta sección están referidos a:

- Construcción de obras civiles (ver especificaciones de obras civiles)
- Montaje e instalación de equipos electromecánicos.

2.2.1 Grupo turbogenerador

Comprende la instalación de la turbina, generador y regulador de carga en la Casa de Máquinas de la MCH, debiendo el Contratista considerar los siguientes aspectos:

- La turbina deberá estar montada en la fundación construida específicamente para ella, según planos a suministrar por el Proveedor de los equipos electromecánicos.
- El grupo deberá quedar perfectamente alineado y nivelado con mortero de nivelación de 30 mm de espesor, con respecto a la fundación, para lograr un excelente apoyo.
- El grupo electromecánico deberá tener una superficie trabajada paralela a la base de la misma, en un lugar accesible para la correspondiente nivelación (comprobación de la horizontalidad) del equipo.

El montaje deberá ejecutarse con personal especializado. El grupo deberá estar montado de acuerdo a los planos de instalación que proporcionará el Proveedor de los equipos (nivel, ubicación de los pernos para la sujeción del bastidor-base, u otros sistemas de anclaje, etc.), cuyos trabajos deberán ser aprobados por la ITO.

El Contratista deberá comprobar la precisión del regulador automático de tensión AVR, a través del tablero de control. La desviación de regulación de tensión en condiciones normales de operación no deberá ser mayor que 5 % en el rango de factor de potencia de

0,8 hasta 1,0. Ante variaciones súbitas de carga, de hasta 30 % de la potencia nominal del generador, la tensión no deberá bajar más de 20% durante un segundo.

2.2.2 Condiciones Comerciales.

2.2.2.1 Forma de Pago.

El pago por el sistema descrito en los puntos anteriores, se efectuará de manera global, considerando todos los componentes como planos, manuales, equipo, material, accesorios, construcción de obras, transporte, instalación, puesta en marcha, garantías, etc.

La cantidad determinada será pagada al precio establecido en el contrato. El precio constituye la compensación total por los trabajos realizados e incluye toda la manipulación de los equipos, mano de obra, utilización de equipo, herramientas, materiales e imprevistos necesarios para ejecutar los trabajos detallados, incluyendo los materiales utilizados para las fundaciones, así como de los accesorios y eventuales adaptaciones e imprevistos que pudiesen ocurrir, los cuales deberán ser considerados por el Contratista.

2.2.2.2 Garantías.

Se registrará de acuerdo al punto descrito anteriormente.

2.2.2.3 Entrega de Documentación.

El Contratista se compromete a entregar los planos de construcción "tal como se construyó", así como toda la documentación exigida: manuales, programa de mantenimiento, certificados de garantía, etc., de acuerdo a lo especificado.

2.3 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS CIVILES DE LA MCH

En cada actividad de ejecución se ha excluido el punto "*Medición y Forma de Pago*" que el beneficiario deberá tener como hito en el contrato de ejecución para realizar las cancelaciones según avance de obra.

2.3.1 MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION

2.3.1.1 Definición.

Este ítem se refiere a la compensación por todos los gastos necesarios para que el Contratista movilice el equipo, maquinaria y personal necesario, para cumplir todo el alcance de trabajo estipulado en el presente documento.

2.3.1.2 Materiales y herramientas.

Los materiales, herramientas y equipos a emplearse deberán ser aprobados por la ITO. El Contratista deberá proveer todo el material, equipos y herramientas necesarios para el trabajo con la anticipación debida.

2.3.1.3 Procedimiento para la ejecución.

Antes de la iniciación del trabajo, el Contratista deberá contar con la aprobación de la ITO, respecto a la ubicación de las obras, para lo cual y como constancia de dichas solicitudes y aprobaciones de inicio de frentes de trabajo, estas deberán ser escritas en el Libro de Obras.

2.3.2 REPLANTEO

2.3.2.1 Definición. Se refiere al trabajo de replanteo, control de cotas y niveles necesarios para la localización en general y en detalle de toda la obra, en estricta sujeción a los planos de construcción y/o indicaciones de la ITO.

2.3.2.2 Materiales y herramientas. El Contratista deberá proveer todos los materiales, herramientas y equipos necesarios para el trabajo de replanteo, las veces que sea necesario durante toda la etapa de construcción.

2.3.2.3 Procedimiento para la ejecución. Todo el trabajo de replanteo será iniciado previa notificación a la ITO y Supervisión tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- El Contratista procederá a replanteo del eje del eje de emplazamiento de la tubería de presión, ubicación de Casa de Máquinas y emplazamiento de la línea de distribución eléctrica sobre la base de planos del proyecto.
- Los trabajos de replanteo, estarán bajo estricto control de la ITO, debiendo colocarse puntos de referencia BMs en sitios visibles, no removibles. El trazado de la tubería de presión deberá marcarse con estacas cada 20 m.
- Los bancos de nivel y trazos de construcción, serán cuidadosamente conservados por el Contratista.

2.3.2.4 Medición y forma de pago. La medición y la forma de pago por concepto del replanteo y control de obras se realizará por partida global.

2.3.3 LIMPIEZA Y DESBROCE

2.3.3.1 Definición. Este trabajo consiste en la limpieza del terreno, la extracción arbustos y vegetación existente, así como su trasplante a un lugar aledaño que indique la ITO.

2.3.3.2 Materiales y herramientas. El Contratista deberá proveer todos los materiales, herramientas y equipo necesario para este trabajo.

2.3.3.3 Procedimiento para la ejecución. Este trabajo deberá ser realizado principalmente en el sector entre la boca toma y Casa de Máquinas.

2.3.4 EXCAVACIONES.

2.3.4.1 Definición. Este ítem comprende todos los trabajos de excavación para la ejecución de las obras diseñadas, en diferentes clases de terrenos, hasta las profundidades establecidas en los planos correspondientes y/o instrucciones del Supervisor.

Clasificación. De acuerdo a la naturaleza y característica de los suelos a excavar se establece la siguiente clasificación:

Excavación manual en suelo duro, semiduro y blando.

Las excavaciones necesarias en las obras en general son manuales por las condiciones de acceso y magnitud del trabajo.

El trabajo en suelo se lo clasifica de la siguiente manera:

Suelo blando. Este se puede excavar fácilmente con pala y picota, ya que está constituido por material fino poco compacto y exento de piedras.

Suelo duro. Los terrenos de suelo duro requieren un tratamiento de previo ablandamiento con herramientas manuales como barretas. Es el caso de arcillas, arenas compactadas, roca fracturada, etc.

Suelos semiduros. Constituyen los suelos intermedios a los descritos anteriormente.

2.3.4.2 Materiales y herramientas. El Contratista suministrará todos los materiales, herramientas, equipos necesarios y apropiados para el tipo y dimensión de las obras que deberán ser ejecutadas. El contratista está en la obligación de dar aviso con la suficiente anticipación sobre las excavaciones a realizarse, para que el Supervisor de obra verifique la demarcación correspondiente.

2.3.4.3 Procedimiento para la ejecución. Los trabajos se inician luego de aprobados los replanteos y trazados previos. Las tierras y material que provengan de las excavaciones y que no sean necesarias para el apisonamiento en las obras, deberán ser evacuados hacia el costado una distancia suficiente de tal forma que no perjudiquen la evacuación de las aguas de lluvia eventuales ni el normal desarrollo de los demás trabajos.

2.3.5 CAMA Y RELLENO COMPACTADO.

2.3.5.1 Definición. Este ítem comprende todos los trabajos de relleno y compactado de las zanjas. Se distinguen dos tipos de relleno: uno consiste en la cama y relleno de primera capa con tierra cernida para proteger las tuberías; otro consiste en el relleno y compactado de las zanjas hasta el nivel del suelo con tierra común, sobre las tuberías después de su colocación, y el relleno y compactado de las sobre-excavaciones resultantes de la construcción de obras, siguiendo el procedimiento prescrito en estas especificaciones y/o instrucciones de la ITO.

2.3.5.2 Materiales y herramientas. La compactación se realizará con pisonos (*manuales o placas vibradoras*)

2.3.5.3 Procedimiento para la ejecución. Al concluirse los trabajos de vaciado de hormigones e instalación de la tubería de presión, se verificará que los trabajos de relleno y compactado manual, no afecten a las obras arriba mencionadas. Se procederá de la siguiente forma:

- Se depositará y esparcirá el material de relleno, en capas de 20 cm, como máximo.
- Se humedecerá hasta obtener la humedad óptima.
- Se compactará con pisones manuales.

La compactación se efectuará hasta alcanzar una densidad relativa no menor al 90% de ensayo "Proctor modificado".

Para el relleno de zanjas para tuberías, se procederá de la siguiente manera:

Una vez realizada la excavación hasta la profundidad requerida, se aplicará una cama con tierra cernida, espesor de 5 cm, luego se instalará las tuberías y realizarán las uniones, los ensayos y pruebas de tubería. La ITO, después de comprobar el eje de las tuberías y la calidad de la hermeticidad de las uniones, aprobará el trabajo y autorizará por escrito la iniciación del relleno, el que se completará hasta los 20 cm de espesor con el relleno de tierra cernida. Luego se continuará con el relleno de material común, de acuerdo a las siguientes recomendaciones. El material se colocará en capas no mayores a 15 cm convenientemente compactadas.

No se permitirá caminar o echar piedras grandes sobre la tubería, hasta que el relleno compactado haya alcanzado el nivel del suelo.

La superficie final será razonablemente pareja y libre de irregularidades. Para un acabado satisfactorio, será necesario una nivelación a mano y rastrillaje alrededor de las estructuras.

2.3.6 HORMIGONES.

2.3.6.1 Definición. La parte correspondiente a la construcción con hormigones será reglamentada en su integridad por la Norma Chilena de Hormigones. La aplicación de la Norma Chilena sobre Hormigones, deberá considerarse como documento oficial, cuyos capítulos, incisos y comentarios se aplicarán obligatoriamente a la práctica de producción del hormigón en todas sus fases.

Dosificación.

El Contratista será íntegramente responsable de la dosificación del hormigón, de manera que se obtenga una prueba de resistencia cilíndrica de rotura a los 28 días de acuerdo al tipo de hormigón especificado en los planos y al presente pliego de especificaciones. El Contratista presentará para su aprobación, la dosificación correspondiente. En todo caso el contenido mínimo de cemento no será menor al establecido en el presente documento, condición que no exime al Contratista de cumplir con lo estipulado en la Norma. En caso de que las resistencias de los hormigones, no cumplan con lo especificado, la ITO pudiere ordenar la demolición de los elementos construidos.

Ensayos de resistencia.

Los ensayos necesarios para determinar las resistencias del hormigón serán realizados con los materiales a ser utilizados en obra y estarán certificados por un laboratorio de reconocida reputación, aprobado por la ITO.

Áridos.

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón, así como las demás características que se exijan en la Norma. El Supervisor rechazará toda arena o grava que contenga impurezas orgánicas e inorgánicas en los límites especificados por la Norma.

Piedra

La piedra a utilizarse será de una dimensión máxima de 12 cm.

Agua

El suministro de agua para el hormigón, deberá tener características reglamentadas por la Norma. Básicamente deberá ser clara, incolora y no tener compuestos químicos perjudiciales a la resistencia, acabado y curado del hormigón.

Cemento

Para la elaboración de los distintos tipos de hormigón, se debe hacer uso de cementos que cumplan las exigencias de la NCh referente al cemento Portland. El suministro, manejo y almacenamiento se hará del modo indicado por la norma.

El Contratista deberá mantener registros precisos de las entregas de cemento (fechas de salida de fábrica y de uso en la obra), facilitando a la ITO copias cuando sean requeridas.

El cemento se usará en la secuencia de su entrega, para que ninguna provisión de este material se almacene más de 30 días. Si el cemento se llegara a apelmazar o formar grumos debido a la hidratación parcial, será rechazado inmediatamente y retirado del sitio de obra.

Aditivos

El Contratista, cuando así lo requiera, solicitará a la ITO mediante el Libro de Obra, aprobación para el uso de compuestos químicos y otros elementos en el hormigón sin costo adicional argumentando razones de trabajo, tiempo, acabado y cuando sean necesarios. El uso de estos aditivos será según instrucciones del fabricante.

Fierro de construcción

Se refiere a la provisión, transporte, manipuleo, doblado e instalación de fierro de construcción en las dimensiones, forma y posiciones indicadas en los planos o según lo instruya el Supervisor. El acero de refuerzo para el hormigón armado será A44-28H, con resaltes para diámetros superiores a 6 mm. El Contratista presentará a consideración del Supervisor, para aprobación, el certificado de calidad otorgado por el fabricante.

Equipos y herramientas

Los equipos y herramientas serán, por lo menos, una mezcladora de hormigón con capacidad mínima de 320 litros y un vibrador de botella. Asimismo se dispondrá de baldes para la dosificación de materiales.

2.3.6.3 Procedimiento para la ejecución

Preparación del hormigón.

El Contratista producirá el hormigón en cantidad, calidad y ritmo compatibles con las necesidades de cada componente de la obra. La fabricación deberá cumplir las normas.

El hormigón será mezclado en la mezcladora, para garantizar una distribución uniforme de los materiales en la masa. Las actividades de cargado de materias primas, mezclado y vaciado del tambor deberán efectuarse en conformidad con los tiempos y ciclos de producción diseñados. El cargado se efectuará en el siguiente orden: grava o gravilla, arena, cemento, agua, de acuerdo a las especificaciones para cada caso.

Control de materiales.

En todos los ítems de hormigón armado deberá realizarse el control de calidad de sus componentes. Para el control de la resistencia del hormigón, el Contratista deberá certificar los hormigones a través de un laboratorio autorizado.

Manejo, transporte, colocación y compactación del hormigón.

Ningún vaciado del hormigón se iniciará sin la autorización de la ITO. En cada ocasión en que el Contratista proyecte colocar hormigón, deberá dar aviso a la ITO por lo menos con 24 horas de anticipación. La ITO verificará la correcta colocación y fijación de la enfierradura, según lo indicado en los planos. Antes del vaciado se retirará del interior de los encofrados todo desecho. El hormigón será vibrado utilizando equipos de inmersión mecánicos.

Colocación y sujeción de enfierradura.

Todas las barras de armadura del hormigón se colocarán con precisión en la posición indicada en los planos y se asegurarán firmemente antes del vaciado. Las barras serán sujetas con alambre de hierro en todas las intersecciones, teniendo cuidado de efectuar un mínimo de dos vueltas por intersección.

La separación entre barras y encofrados será 2,5 cm y se mantendrá por medio de bloques espaciadores de hormigón, tirantes, colgadores u otros soportes aprobados. No se permitirá el uso de guijarros, pedazos de piedra, tubos metálicos o bloques de madera.

La ITO inspeccionará y aprobará la armadura antes de que se inicie el vaciado del hormigón. El vaciado que contravenga esta disposición será rechazado y removido.

Los aspectos que reglamentan los empalmes, anclajes, adherencias, distancias entre barras y otros relativos a colocación, deberán cumplir la Norma, en caso de no estar expresamente señalada en los planos.

Cuando las barras se coloquen en la obra, estarán libres de suciedad, pintura, mortero, aceite u otras sustancias extrañas.

Encofrados.

Los encofrados serán de terciado para moldaje, de 12 mm de espesor mínimo. En aquellas superficies no expuestas (hormigón no elevado) se podrá usar madera bruta, siempre que se tomen medidas para evitar la filtración de mortero.

Todos los encofrados corresponderán a las formas, líneas y dimensiones de la estructura, tal como se indica en los planos y serán de resistencia tal, que no cedan por el peso y presión del hormigón fresco.

La ruptura o falta de alineación de los encofrados y el daño que ello produzca serán corregidas por el Contratista a su costo.

La mezcla de cemento, arena y grava será en proporción 1: 2: 6, respectivamente.

Tipos de hormigones a utilizarse.

Hormigón H-20.

Resistencia a la compresión (fck) a los 28 días de 20 Mpa (200 kgf/cm²).

Este hormigón se utilizará específicamente para hormigones ciclópeos.

Hormigón H-25.

Resistencia a la compresión (fck) a los 28 días de 25 Mpa (250 kgf/ cm²).

La dosificación de este hormigón se realizará por peso y de acuerdo a dosificación presentada por el Contratista.

Este hormigón se utilizará para la construcción de estructuras de hormigón armado y específicamente para todos los hormigones para anclas de la tubería de presión.

Hormigón simple.

Para los trabajos de hormigón simple, se utilizará mezcla de cemento, arena y grava. Los materiales deberán cumplir con los requisitos de calidad exigidos en la sección de hormigones.

Para el hormigón simple se utilizará piedra desplazadora embebida en hormigón. Las piedras desplazadoras, limpias y mojadas deberán estar completamente recubiertas de mezcla,

no permitiéndose el contacto directo entre ellas. La piedra deberá ser de buena calidad, sana y sin fracturas, de dimensiones máximas de 12 cm de diámetro equivalente.

Hormigón ciclópeo H-20 y 40% de Piedra Desplazadora.

Este ítem se ejecutará con hormigón H-20 y 40% de piedra. Con este hormigón se ejecutarán los cimientos de la Casa de Máquinas y donde se indique en los planos.

Hormigón pobre para emplantillados.

Se colocará una capa de hormigón pobre para emplantillado, de espesor indicado en planos, sobre el relleno compactado previo a la instalación de la armadura de refuerzo. Para el hormigón pobre se utilizara una mezcla de cemento, arena y grava en proporción 1: 2: 6, respectivamente.

2.3.7 ESTABILIZADOS Y RADIER

2.3.7.1 Definición. Este ítem comprende a la instalación de una capa de estabilizado de piedra sobre suelo previamente preparado sobre la que se aplicará una capa de arena para recibir el radier, en el caso de la Casa de Máquinas.

2.3.7.2 Materiales y herramientas. Los materiales necesarios comprenden grava, arena, cemento y agua y deberán sujetarse a las especificaciones del capítulo "Hormigones" del presente pliego, de igual manera que las herramientas y equipos.

2.3.7.3 Procedimiento para la ejecución. Luego del replanteo de las obras donde se ejecutará el estabilizado y radier, la superficie del terreno será compactada adecuadamente en los niveles establecidos en los planos de manera que con la altura establecida para el estabilizado de gravilla se respeten las cotas de proyecto.

Una vez concluido el estabilizado de gravilla, se colocará una capa de 5cm de arena compactada para posteriormente proceder al vaciado de una capa de hormigón simple de 10cm de espesor, como se especifica en planos. El vaciado se realizará con un esparcimiento uniforme y debidamente platachado. La nivelación de las superficies será con regla y la terminación será a grano perdido con llana metálica, en el nivel establecido. El hormigón simple será del tipo H 20.

2.3.8 MUROS DE MADERA

2.3.8.1 Definición.

Comprende la construcción de muros de madera compuesto elementos de 2"x4", para la edificación de la Casa de Máquinas.

2.3.8.2 Materiales y herramientas.

Las piezas de madera que se utilizarán en este ítem comprende madera cepillada 4C; si son de Pino radiata, Grado G1 o mejor, según NCh 1207; cualquier otra especie, Clase Estructural F8, según NCh 1990. Contenido de humedad no superior al 15%, controlado según NCh 176/1, aceptándose una tolerancia de $\pm 3\%$. Tolerancias dimensionales según NCh 174. Piezas tratadas con sal CCA, retención 4,0 kg/m³ y penetración según NCh 819.

2.3.8.3 Procedimiento para la ejecución.

Se ajustará a lo indicado en la NCh 1198 Of. 91. El Contratista deberá disponer del equipo adecuado para la erección de las estructuras, mismo que deberá estar en óptimas condiciones y debidamente certificado por la ITO. Antes de comenzar el montaje de la estructura de madera, el contratista deberá entregar a la ITO una secuencia de montaje a seguir, de manera que se agilice el montaje. La secuencia de montaje propuesta por el contratista deberá ser aprobada y, en caso que se pudiera, optimizada por la ITO.

2.3.9 CUBIERTA

2.3.9.1 Definición

Comprende la cubierta de (*chapa de acero galvanizado, otra*) y la estructura de (*acero, otra*), en su conjunto, así como los accesorios de ensamble y anclaje de acuerdo a planos.

El Contratista ejecutará las obras de acuerdo a los planos y especificaciones. Deberá también verificar en obra, con la debida anticipación, las líneas y niveles que figuran en los planos así como las dimensiones reales, para evitar que algún error. La ITO realizará la inspección de la estructura antes de la aplicación de la cubierta.

El Contratista deberá preparar todos los esquemas de detalles necesarios para la ejecución de la obra, sobre la base de los planos entregados, esquemas que deberán ser aprobados por la ITO antes de su ejecución.

2.3.9.2 Materiales y herramientas

La estructura portante será construida con cerchasy costaneras de.....

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto)

2.3.9.3 Procedimiento para la ejecución.

La separación entre cerchas y costaneras será la especificada en planos.

2.3.10 PUERTA Y VENTANAS

2.3.10.1 Definición

Comprende el suministro y colocación marcos, puerta y ventanas en la Casa de Máquinas.

2.3.10.2 Materiales y herramientas

Los vidrios serán de un espesor mínimo demm. Se empleará marcos perfilpara la puerta y los enrejados de fierro cuadrado..... Las bisagras serán del tipo

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto).

2.3.10.3 Procedimiento para la ejecución

Los marcos serán prefabricados sobre la base de perfil.....de acero..... Para el caso de las ventanas se considerará una reja de barras de acero de sección cuadradaX.....mm, construcción soldada.

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto)

2.3.11 PINTURA

2.3.11.1 Definición.

Este ítem se refiere al pintado de todos los elementos que lo requieran.

2.3.11.2 Materiales y herramientas.

La pintura a utilizar será de calidad y marca conocida. No se permitirá el empleo de pintura preparada en obra.

2.3.11.3 Procedimiento para la ejecución.

Con anterioridad a la aplicación de la pintura se corregirán todas las irregularidades y se limpiarán prolijamente las superficies.

En elementos de madera se aplicarán... manos de..... color En elementos de metal se aplicaránmanos de pintura..... con anterioridad a su colocación. Una vez colocados se aplicarán manos de..... color.....

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto)

2.3.12 CARPINTERIA METALICA

2.3.12.1 Definición.

Este ítem comprende la fabricación de la rejilla anti-residuos a instalar en la cámara de carga, de acuerdo al diseño establecido en los planos de detalle.

2.3.12.2 Rejilla anti-residuos.

Para la rejilla anti-residuos se empleará pletina de acero dex mm, de acuerdo a lo indicado en los planos de detalle. La rejilla será modular y galvanizada en caliente. La soldadura a emplearse será del tipo MIG o arco manual, adecuada a los elementos a soldarse. Electrodo E 6011.

2.3.12.3 Compuerta.

Las compuertas serán de plancha de aceromm de espesor, con correderas guía de perfil y pletina de empotradas previamente en el hormigón. La compuerta tendrá un mecanismo de apertura conformado por..... Serán construidas de acuerdo a plano de detalle. La soldadura a emplearse será del tipo MIG o arco manual, adecuada a los elementos a soldarse. Electrodo.....

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto)

2.3.13 LIMPIEZA GENERAL.

2.3.13.1 Definición.

Este ítem se refiere a la limpieza general, así como acondicionamiento total de la edificación y construcciones con posterioridad a la conclusión de todos los ítems y con anterioridad a su entrega.

2.3.13.2 Procedimiento para la ejecución.

Para la entrega de obras el contratista retirará, transportando fuera del área del recinto de la edificación y de las zonas de construcción, todos los materiales sobrantes, escombros, basuras, andamiajes, equipos, herramientas y otros a entera satisfacción de la ITO. El desecho de escombros y otros materiales se efectuará en sitios autorizados.

2.4 ESPECIFICACIONES TECNICAS PARTICULARES PARA COMPONENTES DE LA MCH

2.4.1 REJA ANTI-RESIDUOS.

Este dispositivo es de mucha importancia porque evitará el ingreso de objetos en suspensión en el agua y residuos flotantes a la tubería de presión que pudiesen llegar a la turbina y causar daños graves, por ejemplo, la trabazón del rodete o rotura de álabes del rodete. Su mantenimiento deberá ser regular, consistente en limpieza manual con rastrillo. Los detalles constructivos se indican en planos y en las presentes especificaciones, en el párrafo de Carpintería Metálica.

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto)

2.4.2 TUBERIA DE PRESIÓN

2.4.2.1 Características técnicas generales.

Las características se resumen en la tabla siguiente:

TUBERIA DE PRESION	
Longitud total de la tubería, aprox.	 m
Longitud de cada tubo (tira)	 m
Material de la tubería	PVC (cloruro de polivinilo), acero o PRFV
Clase	
Diámetro nominal	 mm
Sistema de acoplamiento	Uniones tipo....con anillo de sello de"
Presión de trabajo de diseño	m de columna de agua (...kg/cm ²)

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto)

2.4.2.2 Procedimiento para la instalación

Tubería

Para la instalación de la tubería de presión, deberán haberse construido previamente la zanja según trazado de planos y replanteo. La alineación deberá ser precisa, de manera que no se presenten problemas en el emplazamiento de la tubería. Controlar la alineación por trechos en las dos direcciones, respecto a la vista de elevación y a la planta. El tendido de la tubería se realizará de abajo hacia arriba. El montaje de las tuberías respecto a las uniones, se realizará de acuerdo a las indicaciones del proveedor, con los muertos de anclaje de HA indicados en los planos.

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto)

Codos y curvas para tubería de presión.

Los codos y curvas serán los indicados en planos.....

(Especificar de acuerdo al tipo de tubería adoptado en el proyecto)

2.4.2.3 Montaje

Todos los dispositivos temporales necesarios para el montaje deberán ser suministrados por el contratista y removidos después del montaje.

2.4.2.4 Pruebas

La tubería instalada deberá ser probada, en toda su longitud, es decir, será probada cuando esté montada en su totalidad y lista para hacer la primera prueba de arranque. Inicialmente se lava la tubería evacuando la tierra y piedras que hubieren entrado durante el montaje.

Antes de iniciar la prueba de la tubería debe llenarse la misma a un ritmo lento. Una vez llena se efectuará la prueba hidráulica, sometiéndola a una presión de prueba igual a 1,5 veces la presión de trabajo. Luego se efectuarán pruebas para su comportamiento ante golpe de ariete mediante el cierre de la válvula de paso en un tiempo no menor a 6 segundos. Una vez en operación la MCH, siempre se procederá al cierre de la válvula en un tiempo nunca menor a 6 segundos.

2.4.3 CASA DE MAQUINAS

La Casa de Máquinas albergará los equipos electromecánicos, tablero de fuerza y control, regulador electrónico de carga y tanque de carga lastre. El espacio será lo suficientemente amplio para posibilitar el manejo de la maquinaria en labores de mantenimiento. La construcción de la Casa de Máquinas, según Especificaciones Técnicas de Obras Civiles (2.3), comprende lo siguiente:

Replanteo y trazado.

Excavaciones.

Cimientos y sobrecimientos de hormigón ciclópeo.

Radier de hormigón simple, de 10 cm de espesor.

Muros de piedra natural de 20 cm de espesor

Colocación de 1 puerta de ingreso y 1 ventana.

Cubierta de plancha ondulada Zinc -Alum

Instalación eléctrica de fuerza y alumbrado interior y alumbrado exterior.

Nota.-

Como parte del contrato de provisión de equipos, el fabricante o proveedor deberá entregar los planos de fundaciones para el montaje de los equipos electromecánicos y las obras del canal de restitución dentro de la Sala de Máquinas.

2.4.4 BOCATOMA

Según el tipo definido por el proyectista, las opciones son: tipo tirolesa, tipo lateral y tipo Coanda.

(Especificar de acuerdo al tipo adoptado en el proyecto)

2.4.5 DESARENADOR

Se construirá el desarenador de hormigón armado, de acuerdo con las Especificaciones Técnicas de Obras Civiles (2.3) y detalles de planos.

(Especificar de acuerdo con las necesidades y al tipo adoptado en el proyecto)

2.4.6 ADUCCION

La aducción podrá ser en canal abierto o entubado, especificando la materialidad, capacidad de conducción, velocidad estimada y coeficiente de rugosidad estimado.

El canal de aducción será según planos con dimensiones decm de ancho x cm de profundidad, de modo que trabaje con un tirante de cm, para conducir un caudal máximo del/s con una velocidad máxima de.....m/s. Todos aquellos puntos que presenten derrames serán consolidados con pretils de tierra convenientemente apisonada, según indicación de la ITO.

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto pudiendo ser aducción entubada).

2.4.7 CAMARA DE CARGA

La cámara de carga (CC) será alimentada desde la bocatoma y desarenador mediante la aducción. Se construirá de hormigón armado, de acuerdo con las Especificaciones Técnicas de Obras Civiles (2.3) y detalles de planos. La entrada a la tubería de presión será acampanada con radio de curvatura igual a $D/4$. La sumergencia entre el pelo de agua y la clave de la tubería será dem, de acuerdo a cálculos para evitar formación de vórtices. El volumen de la CC será dem³, adecuado para un tiempo de residencia del flujo de agua de 120 segundos.

(Especificar de acuerdo al tipo adoptado en el proyecto)

2.5 ESPECIFICACIONES TECNICAS OBRAS ELECTRICAS

2.5.1 INTRODUCCION

Estas especificaciones técnicas tienen como objetivo describir y complementar los trabajos de las instalaciones eléctricas de la MCH

2.5.2 ALCANCE DE LOS TRABAJOS

Las obras de las instalaciones eléctricas, materia de las presentes especificaciones, comprende el suministro e instalación de lo siguiente:

- Empalmes para cada construcción (*según corresponda*)
- Instalaciones interiores proyectadas (*según corresponda*)
- Instalación de redes de distribución en Baja Tensión(BT) y Media Tensión(MT) (*según corresponda*)

2.5.3 NORMAS DE EJECUCION

El montaje se hará de acuerdo a la reglamentación vigente de la Superintendencia de Servicios Eléctricos y Combustibles (SEC), Nch 4/2003, Nch 2/84 y Nch 10/84.

En el caso de sistemas conectados a la red (*on-grid*) considerar que las redes de distribución en baja tensión y media tensión tienen como base normas propias utilizadas por las empresas de distribución local. Las modificaciones y adaptaciones a terreno serán con el fin de mejorar lo proyectado.

2.5.4 CONDICIONES GENERALES

El Contratista deberá considerar los siguientes aspectos relacionados con la ejecución de los trabajos:

- i) Toda instalación de interior se debe construir en tubo rígido de PVC.
- ii) Las especificaciones y normas nacionales priman sobre los planos del proyecto.
- iii) Se deberá verificar en terreno las medidas indicadas en el proyecto.
- iv) Se deberá velar por la seguridad y orden de la obra durante las faenas de instalación y montaje.

2.5.4.5 Consultas.

Para los efectos de consulta, el Contratista se deberá coordinar a través del Inspector Técnico de la Obra (ITO), quién de no resolver de inmediato procederá a obtener del consultor las soluciones a dichas consultas.

2.5.4.6 Daños a construcciones

En cuanto a los daños que sufran las construcciones debido en la ejecución de las instalaciones eléctricas, el Contratista deberá efectuar las reparaciones que correspondan.

2.5.4.7 Coordinación

Los trabajos se programarán de acuerdo al cronograma de ejecución de las obras y serán coordinados por el Contratista con la ITO, bajo la supervisión directa del personal especializado a cargo de la obra.

Toda actividad relacionada con puestas en servicio de las instalaciones debe ser programada y coordinada con el ITO y ejecutada por el Contratista bajo la supervisión directa del personal especializado, efectuando las pruebas necesarias que aseguren un correcto funcionamiento.

2.5.4.8 Instalador

Las obras deben ser ejecutadas por un instalador Clase A, quién será responsable ante la ITO de la correcta ejecución.

2.5.4.9 Planos

El Contratista entregara una copia de planos "Como se construyó", donde se consignen los cambios que se puedan producir durante la construcción.

2.5.4.10 Trámites de Aprobación

El Contratista efectuará a su costo todos los trámites que sean requeridos en SEC.

2.5.5 NOMENCLATURA

Se utilizan en este proyecto y especificación la nomenclatura de los reglamentos de S.E.C. y otras abreviaturas de uso habitual.

Las redes de BT y MT están proyectadas haciendo uso de las nomenclaturas de la empresa de distribución eléctrica C.G.E.

2.5.5.1 Abreviaturas

- t.m.f. Tubería metálica flexible, con cubierta de PVC ("Conduit" flexible.)
- t.a.g. Tubo de acero galvanizado.
- t.a.g.v. Tubo de acero galvanizado a la vista.
- t.a.g.e. Tubo de acero galvanizado embutido.
- t.p.r. Tubo plástico rígido PVC.
- t.p.r.v. Tubo plástico rígido PVC, a la vista.
- t.p.r.s. Tubo plástico rígido PVC, subterráneo.
- BT Baja Tensión.
- MT Media Tensión.
- S/E Subestación.
- SIC Salvo indicación contraria.
- NPT Nivel de piso terminado.

2.5.6 DOCUMENTOS DEL PROYECTO

2.5.6.1 Planos

El contenido de los planos es el siguiente (*listado tentativo, puede variar caso a caso*):

- Plano N°....., Líneas de distribución BT-MT
- Plano N°....., Instalaciones en sala de máquinas
- Plano N°....., Instalación tipo para construcciones.
- Plano N°....., Diagramas unilineales
-

2.5.7 ESPECIFICACIONES

2.5.7.1 Todos los postes a utilizar serán de de la mejor calidad del mercado, adjuntando certificado de calidad.

2.5.7.2 Todas las protecciones diferenciales y magneto térmicas serán de marca..... o equivalente, según referencias indicadas.

2.5.7.3 Todos los transformadores serán marca o equivalente y se mandarán a fabricar para cada fin.

2.5.7.4 Materiales

En la ejecución de los trabajos se utilizarán los materiales indicados en el proyecto, los que serán nuevos y de primera calidad, aprobados por SEC.

Cualquier alternativa de uso de materiales similares ó equivalentes debe ser aprobada por escrito por la ITO.

Las indicaciones de montaje de materiales y equipos que se dan en cada ítem de este capítulo son de carácter general. El Contratista las debe cumplir en cada situación que sean aplicables o utilizar reemplazos que sean de mejor calidad.

2.5.7.5 Canalización

Existirá básicamente un tipo de canalización, según proyecto: Tubería plástica rígida, tipo "conduit" PVC (t.p.r.), color gris.

Todas las cajas de distribución serán de PVC, marca o equivalente.

Artefactos a utilizar son marca Bticino serie 52, o equivalente, artículo para sobreponer.

Todo centro de iluminación debe emplear ampolletas de bajo consumo.

Nota:

Toda medida de ubicación de artefactos debe ser replanteada en obra, según requerimientos.

(*Especificar de acuerdo al diseño adoptado en el proyecto*)

2.5.7.6 Conduit PVC

Tipo: Tipo "conduit" de pared gruesa

Fabricación: PVC denso, resistencia a la radiación solar tipo "conduit", marca Duratec, Tigre ó equivalente. Cuando esté expuesto a intemperie se recubrirá con pintura vinílica, según la recomendación del fabricante.

Acoplamiento: Unión expandida ó coplas de PVC, con adhesivo Vinilit 101 o equivalente.

2.5.7.7 Conduit galvanizado

Norma: NCH – 498, Tipo II, serie C1

Fabricación: De acero galvanizado electrolítico en tiras de 3 m Compac, Cintac ó equivalente, del tipo pared delgada para uso eléctrico.

Acoplamiento: mediante coplas con hilo; los hilos que quedan al descubierto se pintarán con antióxido de inmediato.

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto)

2.5.7.8 Conductores

Se utilizarán conductores tipo NYA en interiores, según se indique en cuadros de carga, diagrama unilineal y detalles.

En las líneas aéreas de MT el conductor será desnudo, de acuerdo al calibre indicado en los planos.

Para alumbrado interior serán de cobre sólido 1,5 [mm²] y para enchufes 2,5 [mm²]; todo el resto será cable unipolar seleccionado por calibre (ver diagramas y cuadros de carga).

2.5.7.9 Código de Colores

Los conductores de C. A. cumplirán el siguiente código nacional, norma SEC:

Fase R (1)	Fase S (2)	Fase T (3)	Neutro	Tierra
Azul	Negro	Rojo	Blanco	Verde

2.5.7.10 Postación

Existen básicamente tres tipos de postes:

- Postes de redes de media tensión madera impregnada de 10 m
- Postes de redes de baja tensión madera impregnada de 8
- Postes de apoyo en empalmes superior a 30 m, 5m

Si se empleara otro tipo de poste (tubo, cemento) se deberán entregar las especificaciones correspondientes.

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto)

2.5.7.11 Amarras

Los mismos conductores que pertenecen a un mismo circuito, alimentador ó línea general se agruparán. Para esto se usaran amarras plásticas Panduit ó equivalentes.

2.5.7.12 Terminales

Se usarán terminales de comprensión de 3M, Legrand ó equivalentes, instalados con la herramienta adecuada (STAK-ON ó similar).

2.5.7.13 Uniones

Serán de los tipos que se indican a continuación:

- Derivaciones: Se podrán utilizar conectores aislados, tipo Electrotap 562 de 3M ó equivalentes, en las derivaciones a lámparas, enchufes, etc., en los casos en que no se interrumpa la línea de alimentación.
- Soldadas: Serán con estaño el 50% ó conectores aislados. El remate se hará con dos capas de cinta de goma autovulcanizante, dos capas mínimo, de cinta aislante plástica, todas aplicadas con traslapo de 50%. Las cintas serán 3M ó marca equivalente.
- En los alimentadores no se aceptan uniones, salvo indicaciones en el proyecto.
- La unión del cable de empalme con la línea de distribución debe ser con prensa paralela, para el neutro y la fase.
- Toda unión en las mallas de tierra debe ser con soldadura por termofusión.
- La unión a las tierras domiciliarias será con el conector que existe para este tipo de barras, apretado con la llave correspondiente (no con alicate).

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto)

2.5.7.14 Gabinete para tableros de distribución (TDA)

Serán del tipo sobrepuesto con tapa marca Saime o equivalente.

Componentes

Los disyuntores monofásicos serán o equivalente. Se debe tener especial cuidado con la selectividad de las protecciones.

Protecciones diferenciales

Todo circuito debe ser protegido por este protector..... o equivalente.

2.5.8 EMPALMES

Cada construcción (*si corresponde*) cuenta con su empalme (Empalme monofásico, norma CGE), el que será conectado a la red de distribución, este empalme está constituido por:

- Cable concéntrico de 2 x 4 mm², unión entre medidor y rack
- 2 prensas de cobre paralelas
- 1 caja de empalme monofásico
- 1 medidor monofásico, con su respectivo certificado
- 1 interruptor automático 10(A), curva 'C'
- 2 mordazas
- 2 barra Copperweld de 1,5 m x 5/8", tp y ts
- 1 pasa cables
- 1 soporte 'rack' de dos vías
- 2 cáncamo galvanizado (1 en poste y 1 en casa)
- Elementos de fijación

(Especificar de acuerdo al proyecto particular)

2.5.9 CÁMARAS DE PASO

Serán del tipo B en albañilería u hormigón armado, con marco y contra marco metálico en perfil angular de 50x50x2,5 mm. La tapa debe considerar un reticulado 10 cm con fierro de construcción # 8 soldado en la parte inferior del perfil que constituye el marco.

Toda parte metálica debe quedar perfectamente pintada con anticorrosivo y pintura terminación para exterior color verde bosque.

(Especificar de acuerdo al proyecto particular)

2.5.10 MALLAS ATIERRA.

Comprende la provisión e instalación de un sistema de "puesta a tierra" para MT y BT mediante barras de cobre (picas) y cable desnudo de cobre No 2 AWG. Esta configuración se denomina anillo de protección o malla de tierra. El Contratista propondrá el esquema para la instalación del sistema, acorde a los requerimientos de equipos instalados y a la resistividad del terreno.

Solo como referencia, se indica un esquema de malla de tierra: Las picas (4 como mínimo) se enterrarán en las 4 esquinas de la Casa de Máquinas, unidas entre sí con cable desnudo de cobre N° 2 AWG. Todo el sistema estará anclado bajo la cimentación del suelo y sólo saldrán del piso los cables correspondientes para conectarse con el cable de tierra del generador, con el del tablero de distribución y las carcasas de los equipos eléctricos de regulación y control. Las perforaciones del suelo deberán ser llenados con una proporción de 3 kg de carbón vegetal y 1 kg de cloruro de sodio (sal común) o con gel especial para mallas de tierra.

Los equipos electromecánicos en la Casa de Máquinas serán puestos a tierra según manual de instrucciones de los fabricantes.

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto)

2.5.11 ESPECIFICACIONES CASA DE MÁQUINAS

Este ítem se refiere a las instalaciones eléctricas en la Casa de Máquinas (MCH), de acuerdo a los circuitos y detalles de plano.

Centros de instalación eléctrica Casa de Máquinas *(solo orientativos):*

- centro de iluminación con canoa reflectante abierta, de 2x40W c/u y "ballast" compensado de la mejor calidad, con interruptor 9/12.
- tomacorrientes (enchufe) de doble toma, de 220V.
- centro de iluminación sobre la puerta de entrada a la Casa de Máquinas, con interruptor 9/12.

(Especificar de acuerdo al tipo constructivo adoptado en el proyecto)

2.5.12 ESPECIFICACIONES SISTEMA DE TRANSMISION

Red de transmisión

Si la energía eléctrica requiere transmisión en baja/media tensión (indicar voltaje), desde la Casa de Máquinas hasta la red de distribución de la planta de bombeo y/o a las cargas monofásicas, deberán especificarse transformadores, pararrayos y mallas de tierra.

Se consultará además, un tablero para la conmutación entre el grupo hidroeléctrico y el grupo electrógeno a Diesel de emergencia *(si corresponde)*.

Se consultarán los correspondientes postes, tensores, alambres, aisladores, accesorios, desconectadores, fusibles, etc., según Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Media y Baja Tensión de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

Transformadores

Se consultarán transformadores Baja Tensión / Media Tensión (BT/MT), para elevar la tensión en la Casa de Máquinas, desde la tensión de los generadores (por lo común 400 V) hasta la tensión de la red de transmisión (indicar voltaje).

10.0 FACTORES CRITICOS PARA LA VIABILIDAD DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA

Para evaluar la potencialidad de un sitio el trabajo debe ser realizado en dos etapas y la primera de ellas es el levantamiento de información en la Ficha 1 del Anexo 1; la segunda etapa es la evaluación de prefactibilidad del proyecto - por un especialista en terreno - en base a la Ficha 2 del mismo anexo, determinando con ello tanto la potencialidad absoluta como relativa (frente a otros sitios).

Fase 1: Levantamiento preliminar de información (Ficha 1)

- **Riego**

- Existencia de un proyecto de riego asociado a la microcentral que emplee la generación eléctrica de ésta como energía para impulsión.
- Cumplimiento de Requisitos Legales y Administrativos

- **Potencial hidrológico**

- Altura Bruta (métodos simples de evaluación, información de Derecho de Aprovechamiento (o Expediente DGA), cartas o Google Earth)
- Superficie de cuenca (definir en carta IGM 1: 50.000)
- Caudal medio (aforos, régimen de caudal mensual, anual)
- Curva de Duración de Caudales (en base a caudales medios mensuales con un registro no menor de 20 años)

- **Requerimientos físicos de infraestructura**

- Distancia por el camino de acceso más cercano
- Distancia al punto de conexión por trazado de menor distancia
- Longitud de la línea de transmisión (entre generación y punto de consumo)
- Requerimientos para la conducción del agua desde captación a punto de generación (definir pasadas de caminos, quebradas, conducción abierta o cerrada, pendientes, etc.)

Fase 2: Evaluación de sitio a nivel de prefactibilidad (Ficha 2)

Después de la evaluación preliminar el sitio es visitado y en base a la información obtenida se procede a definir los siguientes parámetros:

- Altura bruta y altura neta (validación en terreno con error menor a 5%)
- Preselección de equipamiento electromecánico (en base a caudal y altura neta)
- Identificación del sitio (captación, restitución y trazado de disposición de obras en planta)
- Generación de Energía y Factor de Planta
- Estimación preliminar de costos (orden de inversión para la potencia instalada)

Completadas las fases anteriores, los valores resultado del análisis de la información de las fichas sirven para determinar si el sitio es viable para desarrollar una microcentral hidroeléctrica; a modo de resumen en la figura 10.1 se presentan valores indicativos de los parámetros para conformar un criterio decisional que defina si un proyecto califica o no para su implementación.

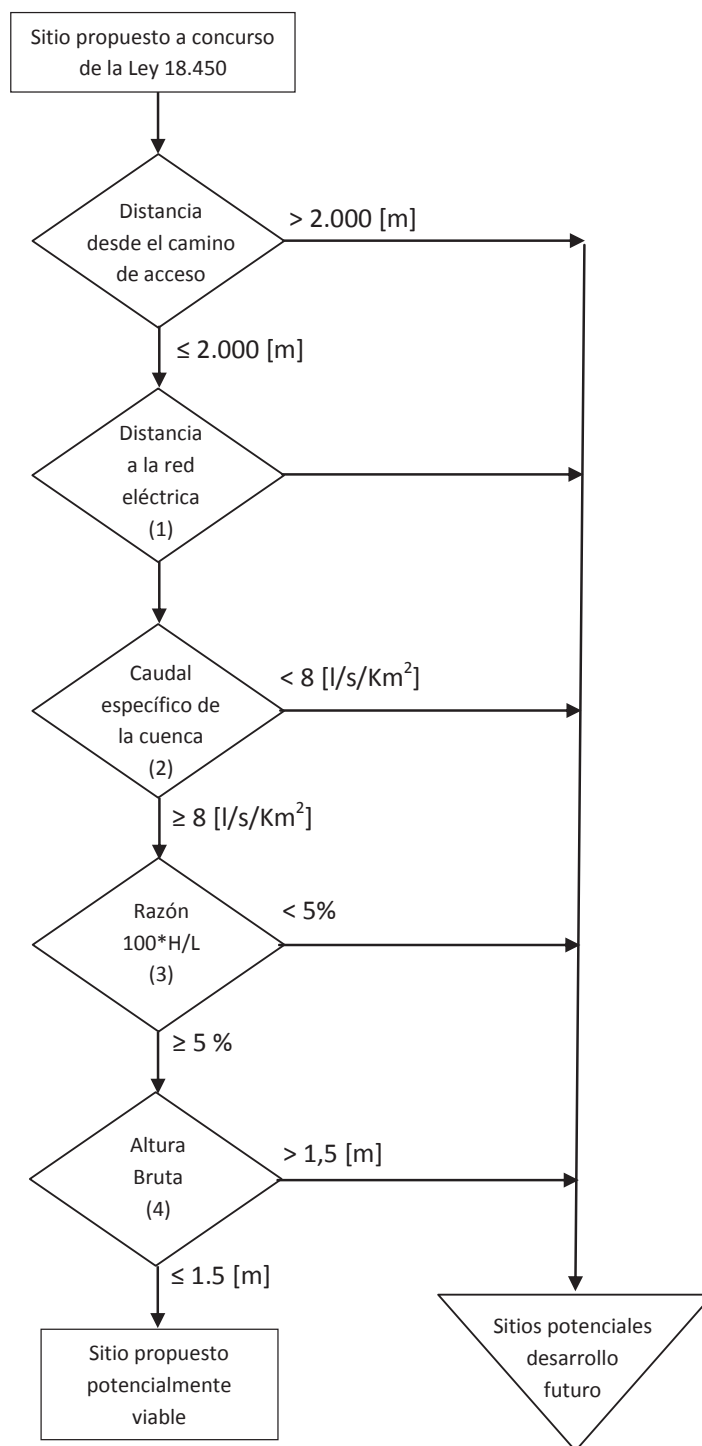


Fig. 10.1 - Diagrama secuencial de puntos críticos a evaluar para la viabilidad de un proyecto de microcentral hidroeléctrica

Notas:

1. A determinar incidencia en el costo de inversión del proyecto. Si el objetivo es conexión para venta, el proyecto hidroeléctrico es más rentable a menor distancia de la red; si es para reemplazar electricidad de bombeo, el proyecto hidroeléctrico es más rentable en cuanto menor es la distancia de conexión.
2. Caudal específico $\geq 8 \text{ [l/s/km}^2\text{]}$ es equivalente al de la cuenca del río Limarí (Región de Coquimbo), por lo que es posible hacer proyectos desde esta región al sur.
3. La pendiente entre captación y punto de generación debe ser superior al 5%
4. Altura mínima para la cual es posible encontrar turbinas comerciales (excepto si es hidrocínética)

11.0 GLOSARIO TÉCNICO

Los términos marcados con asterisco provienen de la Ley N°18.450 y sus modificaciones.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
Acta de Recepción Técnica de Obras*	Informe previo a la Recepción Definitiva de las Obras, en que se verifica el cumplimiento de los requisitos establecidos en la Ley N°18.450, su Reglamento, el proyecto y aquellos requisitos especiales que se establezcan en las Bases.
Acta de Recepción Técnica Condicionada de Obras*	Informe previo a la recepción definitiva que establece que una Obra acogida a inicio anticipado cumple con los objetivos planteados en el Proyecto, quedando sujeta su recepción definitiva a que el Proyecto se adjudique la bonificación en el Concurso a que postuló, o en otros posteriores.
Acta de Recepción Técnica Provisional de Obras*	Informe previo a la recepción definitiva que objeta o repara la ejecución, terminación o funcionamiento de la Obra y otorga un plazo para subsanar las observaciones.
Afluente	Es el agua de un río, túnel, tubería, etc., que desemboca en un lago, en un embalse, en un río o en una central hidroeléctrica.
Aforo	Sección determinada, fija e inalterable en el tiempo para la medición del caudal
Aliviadero	Obra civil destinado a evacuar el caudal excedentario en condiciones de seguridad (Véase Vertedero de Seguridad)
Anchura ponderada útil (APU)	Zona del río así definida que debe disponer de unos caudales mínimos capaces de mantener el funcionamiento del ecosistema fluvial en todos sus niveles.
Año lluvioso o húmedo	Es un año con una cantidad importante de precipitaciones por sobre las de un año normal.
Año seco	Es un año con una cantidad importante de precipitaciones por debajo de las de un año normal.
Aportación	Es el volumen de agua aportado por el cauce en el punto considerado durante un año. Generalmente se expresa en Hm^3 ($1 \text{ Hm}^3 = 1.000.000 \text{ m}^3$)
Áreas silvestres protegidas	Es una denominación para zonas libres de intervenciones en la naturaleza.
Ataguía	Presa temporal construida para mantener el agua fuera de un área durante trabajos de construcción en un cauce natural.
Aviso de Construcción de Obra Nueva*	Aviso que deberá efectuar el Potencial Beneficiario que quisiera acogerse a lo establecido en el inciso 2° del artículo 4° de la Ley N°18.450, que dice relación con el Inicio Anticipado de Obras.
Aviso de Término de Obras*	Aviso mediante el cual el Beneficiario comunica a la Comisión Nacional de Riego el término de la construcción de la Obra contemplada en el Proyecto.
Azud o Barrera	Muro transversal al río, de baja altura (bajo 5 m), destinado a conseguir un régimen fluvial con remanso aguas arriba, para facilitar el desvío del agua por un lateral mediante bocatoma (rejas gruesas) y un canal de derivación.
Barrera móvil	Compuerta en la barrera o presa para evacuar el agua del embalse o la poza.
Barrera o presa de gaviones	Presa que constan de contenedores de piedras retenidas con malla de alambre.
Barrera temporal	Es la construcción de una barrera o una poza con postes verticales de madera o aluminio que son expulsados por las crecidas. Ver también Patás de Cabra . También se le denomina "Presa fusible"

Bases de Licitación*	Documentos aprobados por la Comisión Nacional de Riego que contienen el conjunto de requisitos, condiciones y especificaciones para cada concurso. Forman parte integrante de las bases todos y cada uno de los manuales o documentos emitidos por la Comisión, sean éstos técnicos, administrativos o legales.
Beneficiario*	Persona natural o jurídica u organización de usuarios de aguas que, individual o colectivamente, ha postulado un proyecto en un Concurso y ha obtenido el Certificado de Bonificación.
Bienes adquiridos con la Bonificación*	Bienes y equipos que forman parte de un Proyecto Bonificado y que son imprescindibles para la operación del mismo.
Caballo de fuerza (HP o CV)	Es una unidad de potencia. Un caballo de fuerza equivale a 0,736 kW.
Caída bruta	La distancia vertical o diferencia de cota entre los niveles de agua de la cámara de carga y del canal de restitución aguas abajo de una central hidroeléctrica (o del eje del rodete en las turbinas de impulso).
Caída neta	La caída neta es la caída bruta menos las pérdidas de carga en la conducción (TP y singularidades)
Caída de presión	Es la pérdida de energía utilizable, a causa de fricción del fluido con la tubería u otras pérdidas en la conducción. Ver Pérdida de carga .
Cámara de válvula	Es una cámara en la cual se encuentra una válvula para el cierre de la conducción.
Capacidad de admisión	Este es el caudal máximo que la turbina es capaz de utilizar.
Capacidad de transferencia	Es la capacidad de transferir energía en una red. Se utiliza también en túneles de transferencia.
Carga base	Es la potencia que se necesita para la mayor parte del año.
Calado del canal	Se refiere a la altura del canal en metros
Cámara de carga	Depósito para almacenar un volumen de agua que evite las oscilaciones de caudal en la tubería forzada.
Cámara espiral de la turbina hidráulica	Cámara en forma de espiral de sección decreciente que mantiene la velocidad constante. Está situada alrededor del distribuidor de la turbina.
Canal de derivación	Infraestructura que tiene como misión transportar el agua desde la toma hasta la cámara de carga.
Canal de desagüe	Infraestructura que se utiliza para dirigir el agua hasta el río, previo paso por la turbina (Sinónimo: Canal de restitución)
Carga base	Potencia eléctrica a proporcionar para satisfacer la demanda mínima
Casa de Máquinas	Edificio que alberga la unidad turbina-generator y los tableros eléctricos con las respectivas instalaciones para la producción de electricidad.
Caseta de compuertas	Caseta que contiene equipos de maniobra para las compuertas. En pequeñas centrales hidroeléctricas, a menudo se omite la caseta de compuertas.
Caudal regulado	Es el caudal suavizado que puede mantenerse durante el período de estiaje. El caudal regulado se toma de la curva de regulación de la corriente actual, o de una corriente representativa. El flujo regular (porcentaje de regulación) es una función del porcentaje de embalse.
Caudal no regulado	Son caudales que no están regulados.

Caudal de avenida	Caudal máximo que se puede presentar o rebasar 10 días al año
Caudal de estiaje	Este caudal indicará el mínimo necesario en la época de estío
Caudal de servidumbre	Es el valor de caudal necesario que hay que dejar en el río por su cauce normal. Incluye el caudal ecológico y el necesario para otros usos.
Caudal ecológico	El caudal ecológico es el caudal pasante en la captación que indica el derecho de aprovechamiento de aguas, generalmente como valor mensual y es calculado por un procedimiento desarrollado por la DGA, ya sea como porcentaje del caudal mensual o como un valor por probabilidad de excedencia.
Caudal específico	Caudal por unidad de superficie. Representa el caudal aportado por cada km ² de cuenca; también se le denomina rendimiento específico
Caudal medio anual	El valor promedio de los 12 caudales medios mensuales.
Caudal mínimo absoluto	Es el caudal capaz de generar una APU igual a un metro o al 10% de la anchura total del cauce en cada sección.
Caudal mínimo técnico	Es el valor de caudal directamente proporcional al caudal de equipamiento con un factor de proporcionalidad K que depende del tipo de turbina
Caudal mínimo óptimo	Es el menor valor de caudal a partir del cual la pendiente de la curva APU / Q disminuye
Caudal sólido	Es el caudal que todos los ríos arrastran de una u otra forma, materiales sólidos, como gravas, arenas, limos, árboles, ramas, hojas, etc. El conocimiento del transporte sólido es fundamental en un aprovechamiento ya que determina la frecuencia de limpieza y duración de equipamiento.
Cavitación	Es un fenómeno que puede ocurrir en áreas con altas velocidades del agua y donde la presión del escurrimiento es menor a la atmosférica, lo que provoca ebullición y formación de burbujas de vapor. Las burbujas de vapor son llevadas por la corriente y colapsan violentamente en puntos cercanos donde la presión aumenta. Esto puede ocurrir en sectores de la superficie de un rodete, en turbinas de reacción. La cavitación provoca erosión (picaduras) con pérdida de material en las superficies metálicas. Esto se denomina corrosión por cavitación.
Central de alta caída	Es una central hidroeléctrica con altura de caída mayor que aprox. 250 m
Central de baja caída	Son centrales hidroeléctricas con una altura de caída de hasta aprox. 60 m
Central de media caída	Es una central hidroeléctrica con altura de caída de entre aprox. 60 y 250 metros.
Central de pasada	Centrales hidroeléctricas en las cuales el caudal sólo puede ser regulado en grado insignificante por medio de un embalse tipo azud. Estas centrales hidroeléctricas en los grandes ríos normalmente tienen una altura de caída baja y la central y el embalse están contruidos como una sola unidad. En las pequeñas centrales hidroeléctricas, a menudo hay una tubería forzada larga de aducción y una caída mayor.

Cavitación	Es un fenómeno que puede ocurrir en áreas con altas velocidades del agua y donde la presión del escurrimiento es menor a la atmosférica, lo que provoca ebullición y formación de burbujas de vapor. Las burbujas de vapor son llevadas por la corriente y colapsan violentamente en puntos cercanos donde la presión aumenta. Esto puede ocurrir en sectores de la superficie de un rodete, en turbinas de reacción. La cavitación provoca erosión (picaduras) con pérdida de material en las superficies metálicas. Esto se denomina corrosión por cavitación.
Central hidroeléctrica	Planta para la producción de energía eléctrica. Una central hidroeléctrica consiste de un eventual embalse, una barrera, una bocatoma, una conducción y una casa de máquinas. Esta última contiene una o más turbinas para transformar la energía hidráulica (potencial) en mecánica y generadores para convertir la energía mecánica en energía eléctrica.
Central pequeña	Centrales hidroeléctricas de potencias entre 1 MW y 10 MW.
Certificado de Bonificación (CBRD)*	Documento emitido por la Comisión en que constará la adjudicación de la bonificación ofrecida en un Concurso a un determinado Beneficiario.
Certificado de Bonificación II*	Documento emitido por la Comisión que bonifica los gastos de constitución de una Comunidad de Agua. Su cobro sólo podrá efectuarse si las Obras del Proyecto se encuentran con recepción final por parte de la Comisión Nacional de Riego y terminada la constitución de la organización de usuarios.
Certificado de Obra Nueva*	Certificado emitido por la Comisión previa solicitud de un Potencial Beneficiario a través del Aviso de Construcción de Obra Nueva y en que se acredita que el Proyecto contemplado en el referido aviso no ha iniciado su construcción.
Chimenea de equilibrio	Pique vertical en la conducción a la casa de máquinas, construido para que sirva de estanque de nivelación de presiones y para asegurar el control de estabilidad del sistema frente a rápidos cambios en el caudal a la central (toma y rechazo de carga).
Ciclo hidrológico	Se refiere al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea.
Coeficiente de Chezy	Su valor depende del radio hidráulico y del coeficiente de rugosidad del material. Es adimensional.
Coeficiente de escorrentía	Es la relación entre la aportación al río y la precipitación. Es un valor adimensional.
Coeficiente de rugosidad de Manning	Su valor depende del tipo de material empleado. Se utiliza para calcular la velocidad media del agua por un canal. Es adimensional.
Componente nival	En cuencas cubiertas parcial o totalmente de nieve, es la porción de agua producto del derretimiento que se espera que baje como escorrentía hasta un punto determinado; su valor depende de la latitud y de la altura [m s.n.m.]
Consultor*	Es el profesional inscrito en el Registro Público Nacional de Consultores de la Comisión que elabora y suscribe la carpeta de postulación del Proyecto, la presenta a Concurso y da seguimiento a los procesos administrativos desde la postulación hasta el pago de la bonificación, siendo para estos efectos interlocutor del Postulante ante la Comisión.

Costo del Proyecto o Costo Total de Ejecución del Proyecto*	La suma de los costos del estudio, de inspección y de ejecución de las Obras y, cuando proceda, el costo de las Obras de uso Multipropósito, los Proyectos Anexos y el costo de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile - www.leychile.cl - documento generado el 23-Abr-2015, constitución de organizaciones de usuarios definidas en el Código de Aguas. La suma del costo de estudio, el costo de inspección técnica y los gastos generales incluidos en el valor de la ejecución de las obras e inversiones no podrá exceder del 15% del costo total del proyecto en el caso de las obras cuyo costo total sea igual o inferior a 15.000 unidades de fomento, y de un 20% en aquellas que las superen, excluidos, para estos efectos, los costos de la organización de usuarios, proyectos anexos y el costo de los análisis de laboratorio requeridos.
Costo de Estudio*	Los gastos por concepto de diseño, estudios técnicos ambientales y económicos, estudios jurídicos, análisis de laboratorio y demás gastos necesarios para la preparación y presentación del proyecto.
Costo de Inspección*	Los gastos que irroque la inspección técnica de la construcción de la obra.
Costo de Ejecución de las Obras*	Son aquellos ítems que corresponden a la suma de los productos de los precios unitarios utilizados en la construcción y/o rehabilitación de las Obras de riego, de drenaje con o sin elemento multipropósito, proyectos anexos, de instalación de equipos y elementos de riego mecánico y gastos generales, cuando corresponda.
Costo de Organización de Usuarios de Aguas*	Son aquellos valores que constituyen gastos que ocasiona la constitución legal de las organizaciones de comunidades de aguas o de drenaje. El detalle de los gastos a considerar se especificará en las bases. El monto de la bonificación por este concepto no podrá superar el 10% del costo de ejecución de las Obras, con un máximo de 300 unidades de fomento.
Compuerta	Dispositivo manual o automático que se utiliza para cortar el paso del agua en un canal, barrera o bocatoma.
Comunidad de Obras de Drenaje No Organizada*	La integrada por los usuarios de una misma obra de drenaje que no ha formalizado su existencia de acuerdo a las normas del Código de Aguas.
Conducción	Es una tubería que conduce el agua desde la captación hasta la casa de máquinas, o por una parte de este tramo. Puede apoyarse libremente o conducirse por una zanja. En las pequeñas centrales hidroeléctricas es habitual que esta tubería directamente desde la captación hasta la casa de máquinas. Puede ser superficial o enterrada.
Control de estabilidad	Que un sistema hidroeléctrico, con su conducción, turbina, regulador y red eléctrica, sea estable, significa que mitiga todas las oscilaciones propias que se producen cuando el sistema está expuesto a perturbaciones (para operar en una red separada o aislada).
Coronamiento	Parte superior de una presa.
Corriente continua	Corriente eléctrica unidireccional, a diferencia de la corriente alterna.

Crecida de diseño	Dimensión de la crecida o inundación de diseño, con la cual debe dimensionarse el vertedero. Usualmente las crecidas o inundaciones de diseño tienen períodos de retorno de 200 a 1.000 años.
Cuenca hidrográfica o topográfica	Una cuenca aportante corresponde al área de drenaje hacia un punto de salida único.
Cursos de agua	Sistema interrelacionado de ríos, desde las fuentes hasta el mar, incluyendo los lagos, la nieve y los glaciares.
Embalse o poza	Es un lago artificial o natural, donde se puede acumular el agua durante los períodos de alta afluencia y bajo consumo. Para las centrales más pequeñas, a menudo es una pequeña poza solo para conformar un estanque en la bocatoma de la central hidroeléctrica.
Embalse de regulación anual	Es un embalse que tiene un ciclo de llenado y vaciado en un año.
Embalse de regulación interanual	Embalse con un volumen mayor a un año de suministro de agua. Éste es un embalse que pierde nivel en los años secos y se llena en los años lluviosos o húmedos.
Equipo de Riego Mecánico*	Conjunto de elementos mecánicos integrados que tienen por objeto elevar aguas superficiales o subterráneas a niveles superiores a aquellos en que se almacenan o escurren en forma natural o artificial, como asimismo impulsar, distribuir o aplicar el agua de riego en los predios. Estos equipos podrán ser utilizados en obras de drenaje.
Elementos de Riego Mecánico*	Las partes que integran un equipo de riego mecánico tales como bombas y motobombas, ductos, cañerías, válvulas, sistemas de comando y automatización, filtros, manómetros, medidores de caudal, dosificadores de fertilizantes y pesticidas incorporados al sistema de riego, aspersores, goteros, tableros eléctricos, transformadores y líneas eléctricas de alta y baja tensión, y otras fuentes de energía necesarias para operar los equipos, que se destinen directamente a la impulsión de aguas de riego o drenaje.
Curva de caudales medio clasificados	Curva de probabilidad acumulada que expresa la probabilidad de obtener un valor de caudal mayor que uno dado (Sinónimo: curva de duración de caudales o curva de duración de flujo)
Desarenador	Estanque decantador que sirve para retener materiales sólidos arrastrados por la corriente fluvial y que podrían ser perjudiciales para las turbinas y accesorios de la conducción.
Disponibilidad	Relación entre el número de las horas totales del año menos las horas de paradas fortuitas y menos horas de paradas por mantenimiento.
Distribuidor	Dispositivo que se encarga de dirigir y regular el paso de caudal hacia el rodete en una turbina de reacción.
Disyuntor	Dispositivo de interrupción de la corriente eléctrica capaz de actuar ante intensidades de cortocircuito.
Energía	Capacidad para realizar el trabajo; es el producto de la potencia y el tiempo. La energía eléctrica se expresa en kilovatios-hora [kWh]. 1 kWh = 1.000 vatios usados durante 1 hora. 1 GWh = 1.000.000 kWh.
Energía anual promedio	Es la producción estimada, promedio anual de varios años [kWh/año].
Escorrentía	Precipitación que fluye por los ríos hasta el mar.

Frecuencia	Es el número de oscilaciones de la corriente eléctrica alterna en cada segundo. Se mide en Hertz [Hz]; 1 Hz = 1 oscilación / segundo. La frecuencia del sistema eléctrico Chile es 50 [Hz].
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
Escala de peces	Obra civil construida en un costado de la presa, que tiene por finalidad facilitar el remonte de los peces en sus migraciones aguas arriba.
Escala limnimétrica	Escala graduada en centímetros, afianzada al suelo o al lecho de un río. Se utilizan para medir la altura del agua en el cauce.
Escorrentía superficial	Es la que llega a los cauces superficiales en un periodo de tiempo corto tras la precipitación.
Estación hidrométrica	Es la encargada de la medición de los caudales de un río, mediante la construcción de una sección de aforo.
Estación pluviométrica	Es la encargada de la medición de las precipitaciones.
Estación fluviométrica	Es la encargada de la medición de los caudales en un cauce.
Extensión superficial de la cuenca	Es el área circunscrita por el <i>divortium-aquarum</i> o línea divisoria de la cuenca.
Factor de Capacidad o Factor de Planta	Relación entre la energía real producida [kWh/año] y la que se podría haber producido funcionando a su potencia nominal durante 8.760 h/año.
Factor de compacidad	Es un índice comparativo con la forma de la cuenca de drenaje (perímetro y área de la cuenca).
Factor de forma	Es la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud de su cauce principal.
Fiabilidad	Relación entre el número de horas totales al año menos el número de horas de paradas entre el número de horas totales al año, expresada como porcentaje.
Frecuencia acumulada	Curva que expresa la probabilidad de obtener un valor menor o igual, o mayor que un dado valor.
Frecuencia relativa	Es la relación entre el número de veces que se repite un suceso dividido entre el número total de observaciones.
Generador	Máquina rotatoria que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.
Generador asíncrono	Máquina eléctrica cuya velocidad de giro es superior a la de sincronismo; en rigor, es un motor eléctrico de inducción funcionando como generador.
Generador síncrono	Máquina eléctrica que gira a la velocidad de sincronismo. También se la denomina "alternador".
Golpe de ariete	Variaciones por sobre o bajo la presión normal de operación en la tubería forzada provocada por una maniobra de cierre o apertura brusco de la válvula de entrada de agua a la turbina.
Grid-Tie	Se refiere a equipos que convierten corriente continua a alterna (inversor) que funcionan en conexión a redes y que operan bidireccionalmente, es decir que venden el exceso de energía entregándolo a la red y compran a ésta cuando requieren mayor potencia que la que pueden entregar el equipo para satisfacer el requerimiento de la carga.
Hidrología	Es la ciencia que se dedica al estudio de la distribución temporal y espacial del agua en una cuenca hidrográfica y su circulación. En otro sentido, la hidrología también comprende el estudio de las propiedades físicas y químicas del agua.

Histograma	Gráfico que expresa precipitación en función del tiempo.
Horas equivalentes de funcionamiento	Es el cociente entre la producción anual en [kWh] y la potencia instalada en [kW].
Índice de energía	Cociente entre la inversión y la energía media producida en [kWh/año]
Índice de potencia	Se define como el cociente entre la inversión total y la potencia instalada en [kW]
Informe Técnico Final*	Para Obras que superen las 30.000 unidades de fomento, corresponde al informe evacuado por el ITO en el que debe pronunciarse sobre la conformidad de las Obras con el Proyecto y con las normas de calidad de la construcción, además de aquellas exigencias que se establezcan en las Bases.
Inspección Técnica de Obras*	Actividad de costo y responsabilidad del Beneficiario en la obras superiores a 30.000 UF a que se refiere el artículo 7 bis de la Ley N°18.450, mediante la cual durante la construcción de la obra se verifican los aspectos técnicos, constructivos y administrativos de la Obra de acuerdo a las exigencias establecidas en la Ley N° 18.450, en el presente Reglamento y en las bases del concurso.
Inspector Técnico de Obras (ITO)*	Persona natural o jurídica inscrita en el Área de Inspección y Supervisión del Registro que, por cuenta del Beneficiario, verifica que las Obras se ejecuten conforme a las normas de construcción aplicables, a los permisos requeridos y al Proyecto presentado.
Intensidad de precipitación	Cantidad de precipitación caída por hora, generalmente se expresa en [mm/h]
Inversor	Equipo electrónico que convierte corriente continua en alterna, comúnmente con aumento de la tensión.
IPC	I: Índice de Precios al Consumidor (19%)
IVA	Impuesto sobre el valor agregado
Kilovatio	Unidad de potencia: $1.000 [W] = 1 [kW]$
Kilovatio hora	Unidad de energía producida por 1 [kW] en 1 hora = 1 [kWh] = 3.600.000 Joules
Lámina de agua vertiente	Se obtiene dividiendo la aportación por la superficie de la cuenca
Libro de Obras	Instrumento escrito que debe permanecer en la obra, en el cual se deben registrar instrucciones, observaciones y notas relativas al desarrollo de las obras.
Limnigrafo	Aparato que mide el nivel del agua mediante un flotador.
Línea de transmisión	Es la instalación física del sistema de transmisión, es decir, las fundaciones, postes, cables, aisladores, conductores eléctricos, etc.
Longitud de la cuenca (L)	Distancia definida por la longitud de su cauce principal.
Malla a tierra	Es una instalación compuesta por uno o más electrodos (picas) y cables de cobre desnudos soterrados para evacuar fugas de corriente eventuales en instalaciones eléctricas. Dan seguridad a equipos y personas.
Microcentral	Central hidroeléctrica de potencia menor a 100 kW.
Minicentral	Central hidroeléctrica de potencia entre 100 kW y 1.000 kW.

Muro vertedero	Barrera pequeña, sin dispositivos de regulación, que se construye en los ríos con caudal pequeño, para que se forme un espejo de agua a una altura deseada, aquiete las aguas y permita desviarlas hacia el punto de captación o bocatoma (Sinónimo de azud).
Nivel máximo de operación	Es el mayor nivel regulado de agua (límite superior de regulación) en un embalse o poza.
Nivel mínimo de operación	Es el nivel regulado más bajo del agua (límite inferior de regulación) en un embalse o poza.
Obras*	En los casos en que el reglamento de la Ley N°18.450 se refiere a obras sin otra calificación, se entenderá por tales a las obras de riego, de drenaje y las obras multipropósito, los equipos y elementos de riego mecánico y de generación cuya construcción, rehabilitación, adquisición o instalación son necesarias para cumplir con los objetivos establecidos en el proyecto.
Obras Medianas*	Proyectos cuyo costo total sea superior a 15.000 e inferior a 250.000 unidades de fomento.
Obras de Riego*	Son las obras necesarias para la captación, derivación, conducción, acumulación, regulación, distribución o evacuación de aguas, como asimismo, las obras de puesta en riego, medición y control y las destinadas a mejorar la eficiencia del mismo.
Obras de Puesta en Riego*	Las labores necesarias para adecuar los suelos de secano al riego y para mejorar el aprovechamiento y la eficiencia de aplicación del agua en suelos regados, tales como despedradura, destronque, nivelación y emparejamiento. Se excluye la construcción de cercos y caminos interiores.
Obras de Drenaje*	Las construcciones, elementos y labores destinados a evacuar el exceso de las aguas superficiales o sub-superficiales de los suelos en los que constituyen una limitante para el desarrollo de los cultivos. Incluyen, además, las labores de despedradura, destronque, nivelación, emparejamiento y construcción de cercos y puentes, cuando corresponda.
Obras de Uso Multipropósito*	Aquellas complementarias a Obras de Riego o a Obras de Drenaje, destinadas a propósitos tales como agua potable, hidro-generación, control de crecidas, recarga de acuíferos, entre otros.
Off-Grid	Se refiere a sistemas que operan sin conexión a red o aislados (también se les denomina "isla"); en zonas apartadas generalmente las microcentrales tienen están configuradas con generadores en corriente alterna del tipo síncronos (trifásicos o monofásicos).
On-Grid	Se refiere a sistemas que operan conectados a la red y que pueden vender el excedente de energía a ésta; la conexión es bidireccional por lo que si el sistema no es capaz de la potencia suficiente para la demanda, pueden extraer desde la red el déficit para hacerlo. En nuestra legislación la conexión está regulada por la SEC.
Organizaciones de Hecho*	Las que no han formalizado su existencia de acuerdo a las normas del Código de Aguas y están integradas por quienes tienen derechos de aprovechamiento en aguas de un mismo canal, embalse o pozo y usan o esperan usar las aguas de las fuentes indicadas con la construcción de las Obras consideradas en el Proyecto que postula a la bonificación.

Organizaciones de Usuarios*	Las organizaciones de usuarios de agua contempladas en el Código de Aguas, a saber: Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas y Comunidades de Aguas o Drenaje.
Organizaciones de usuarios de aguas que han iniciado su proceso de Constitución*	Organizaciones de hecho que han iniciado el proceso de constitución, de acuerdo con los procedimientos establecidos en los artículos 187, 188 y siguientes del Código de Aguas y que han reducido a escritura pública el acta de designación de un representante común de sus integrantes.
Pararrayos	Dispositivo de protección eléctrica para captar un rayo de una tormenta eléctrica y conducirlo a tierra.
Patas de cabra	Es una presa de construcción artesanal o parte de un embalse, con postes de madera hincados en el lecho y amarrados formando una pirámide, con piedras en su interior. (Ver Barrera temporal).
Pendiente media de la cuenca	Media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante.
Pendiente media de un cauce	Es la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud.
Pérdidas de carga regulares	Son las pérdidas de energía producidas por el roce del agua con las paredes del canal o tubería forzada. Se restan de la altura de caída bruta para obtener la neta.
Pérdidas de carga regulares	Son las pérdidas de energía producidas por el roce y turbulencias del agua al pasar por cambios de dirección en la tubería (curvas o codos) y válvulas. Se restan de la altura de caída bruta para obtener la neta.
Pérdidas por transmisión	Pérdidas de energía en la red de transmisión y distribución.
Pérdida por vertido	El agua de una crecida que no se puede utilizar para la generación de energía debido a insuficiente capacidad de almacenamiento o de admisión.
Periodo de retorno	Se define como el plazo de tiempo que ha de transcurrir para que la inversión se recupere y se la expresa generalmente en número de años; también se le conoce como retorno de la inversión o periodo de retorno de la inversión.
Peso específico	Es igual a la masa de una unidad de volumen de un fluido. Para el agua es 1.000 [kg/m ³].
Picocentral	Central hidroeléctrica con potencia menor a 5 [kW]
Plazo de Ejecución de los Reparos*	Plazo máximo con que cuenta el Beneficiario para subsanar los reparos realizados a la Obra, contado desde la fecha de emisión del Acta de Recepción Provisional de Obras.
Plazo de Término de las Obras*	Plazo máximo con que cuenta el Beneficiario para la construcción de la Obra, incluidas sus eventuales prórrogas, contado desde la fecha de la notificación de la resolución que aprueba los resultados del Concurso.
Plena carga	Es la condición de carga máxima posible (potencia) en una turbina o un generador.
Postulante o Potencial Beneficiario*	Persona natural o jurídica u organización de usuarios de aguas que, individual o colectivamente, postula un proyecto susceptible de recibir la bonificación y reúne los requisitos establecidos en el artículo N°2 de la ley.
Potencia teórica de un salto de agua	Se define como el producto del peso específico del agua por el caudal y por el valor del salto neto.

Precipitación	La precipitación es cualquier tipo de agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre.
Pretil	Es una barrera construida en un embalse, para evitar que el agua salga y escurra por un sector no deseado.
Proceso de Evaluación*	Procedimiento establecido en las bases del Concurso para asignar puntaje a los Proyectos Admitidos y seleccionar aquellos que cumplan con los requerimientos específicos de cada concurso.
Producción	Se define como la cantidad de energía eléctrica generada por el aprovechamiento en un año, expresada en [kWh], [MWh] o [GWh].
Proyectos*	Conjunto de documentos y antecedentes legales y técnicos, incluido el estudio, que permite definir, dimensionar, valorizar, justificar y construir o rehabilitar las obras de riego o drenaje y las obras multipropósito asociadas o complementarias, que benefician la actividad agropecuaria mediante el cumplimiento de los objetivos establecidos en la Ley. Se incluyen en este concepto las obras que se consultan en los proyectos anexos, cuando corresponda.
Proyectos anexos*	Aquellos que consultan la construcción de obras suplementarias a las de riego, destinadas a utilizar los recursos hídricos o las instalaciones de las mismas para solucionar problemas de agua en el sector pecuario u otros relacionados con el desarrollo rural de los predios o sistemas de riego que se acojan a los beneficios de la Ley. El costo de los proyectos anexos no podrá superar el 10% del costo total del proyecto, con un límite máximo de 100 unidades de fomento para proyectos cuyo costo total sea igual o menor a 15.000 unidades de fomento. Para proyectos con costo superior a 15.000 unidades de fomento el límite máximo será de 1.000 unidades de fomento.
Proyecto Admitido*	El que postula en un concurso y cumple con las exigencias de la ley, reglamento y bases respectivas.
Proyecto Extrapredial*	Es aquel que contiene obras que sirven o benefician a más de un predio.
Proyecto Intrapredial*	Es aquel que contiene obras que sirven o benefician a un solo predio.
Proyecto No Admitido o Rechazado*	El que postula en un concurso y no cumple con las exigencias establecidas en la ley, reglamento y bases respectivas.
Proyecto Seleccionado o Bonificado*	El admitido a concurso y que en el proceso de selección ha obtenido el Certificado de Bonificación.
Proyecto No Seleccionado*	El admitido a concurso y que en el proceso de selección no ha obtenido Certificado de Bonificación.
Proyecto Retirado*	El que, una vez presentado a Concurso, solicita su devolución, previa a la declaración de admisibilidad del concurso, independiente de ser calificado como admitido o no admitido a concurso. Esta facultad sólo puede ser ejercida por el o la postulante o su representante legal.
Proyectos de Rehabilitación de Obras*	Proyectos que tienen por objeto recuperar las condiciones iniciales del diseño original de una obra.

Proyectos de Riego o Drenaje*	El conjunto de Obras de Riego, Obras de Drenaje, Obras de Puesta en Riego, Obras de Uso Multipropósito o de obras de desarrollo agrícola, desde su estudio hasta la recepción final de la obra, que permiten la utilización agrícola óptima de los terrenos a regar.
Radio hidráulico	Relación entre el área y el perímetro mojado de un canal o tubería.
Razón de llenado	Es la relación entre el volumen actual del embalse en un momento dado y el volumen del embalse lleno.
Recepción de Obras*	Para Obras cuyo costo de ejecución sea igual o menor a 30.000 unidades de fomento, corresponde a la instancia liderada por el STO mediante la cual se realiza una inspección completa y detallada de las Obras y se levanta el Acta de Recepción Técnica de la Obra. Para Obras que superen las 30.000 unidades de fomento, corresponde a la instancia liderada por el ITO para la revisión del cumplimiento de los aspectos técnicos, legales y administrativos del Proyecto, de acuerdo a las exigencias establecidas en el Reglamento de la Ley N°18.450 y en las bases del Concurso.
Recepción Definitiva de Obras*	Acto administrativo mediante el cual la Comisión Nacional de Riego declara las Obras recepcionadas técnicamente, acepta la acreditación de las inversiones y ordena el pago de la bonificación.
Rechazo de carga	Reducción brusca de la carga en una central eléctrica.
Rectificador	Equipo para la conversión de corriente alterna (CA) en corriente continua (CC).
Red de distribución	Es la infraestructura encargada de distribuir la energía eléctrica en una zona a usuarios finales, generalmente pequeñas industrias y consumo residencial. El sistema de distribución en Chile posee niveles de tensión de 12 / 13,2 / 13,8 y 23 [kV] en Media Tensión y 400 V (entre fase y fase) - 230 V (entre fase y neutro), en Baja Tensión.
Red de transmisión	Sistema de líneas eléctricas interconectadas y otros equipos eléctricos para la transmisión de electricidad desde las centrales eléctricas a los usuarios finales.
Registro*	Registro Público Nacional de Consultores de la Comisión Nacional de Riego.
Regulador de carga	Servomecanismo que mantiene constante la velocidad de giro de la turbina y en consecuencia la frecuencia de la energía eléctrica generada. Existen del tipo óleo-mecánico, eléctrico-mecánico y electrónico con regulación de caudal o bien con disipación de energía a carga lastre.
Regulación de caudales	Cambio en la variación de caudal a lo largo del tiempo, de una variación natural a una más racionalmente útil para la producción energética.
Reja gruesa	Reja de protección para retener trozos gruesos de árboles, ramas y piedras gruesas en la entrada de la bocatoma, fabricada con barras gruesas de aprox. 100 mm de separación.
Reja fina	Reja de protección de menor separación entre las barras verticales, para retener residuos flotantes de tamaño menor en la salida de la cámara de carga e impedir que entren a la tubería de presión y causen obstrucción en la válvula de regulación, distribuidor o inyectores de las turbinas. Pueden ser de limpieza manual o automática.

Rendimiento	Valor que mide la eficiencia energética de la instalación y se define como relación entre la potencia eléctrica producida y potencia teórica del salto de agua a la entrada de la turbina.
Rendimiento específico	Es la escorrentía por unidad de área, usualmente en [l/s/km ²]. (Ver Caudal específico).
Rodete	Es la parte de la turbina provista de álabes que gira por la acción del fluido y convierte la energía hidráulica en energía mecánica.
Salto bruto	Diferencia de cotas entre la superficie del agua en el azud y la superficie del agua en el canal de desagüe. Se mide en metros.
Salto neto (Hn)	Es el valor del salto útil menos las pérdidas de carga en la tubería forzada.
Salto útil (Hu)	Se define como el salto bruto menos las pérdidas de carga en el canal.
Sensor de nivel	Es un dispositivo de control que detecta el nivel de agua en la cámara de carga y regula la admisión en la turbina para mantenerlo constante.
Socaz	Nivel del agua en el canal de desagüe o en denominación de la RAE <i>"Trozo de cauce que hay debajo del molino o batán hasta la madre del río"</i> .
Supervisión Técnica de Obras*	Actividad mediante la cual la Comisión verifica que las labores de inspección y recepción técnica se ejecuten de conformidad a los parámetros y condiciones establecidas en la Ley, este Reglamento y las bases del concurso.
Supervisor Técnico de Obras (STO)*	Profesional del rubro de la construcción, dependiente de la Comisión que, mediante visitas aleatorias en terreno, verifica que las labores de construcción se ejecuten de conformidad a lo establecido en el Proyecto aprobado y bonificado. Para Obras que superen las 30.000 unidades de fomento de costo de ejecución, el STO deberá verificar que la inspección y la recepción técnica se ejecuten de conformidad a los parámetros y condiciones establecidas en la Ley N°18.450, su Reglamento y en las bases del concurso.
Tasa interna de retorno(TIR)	La tasa interna de retorno es el valor de la tasa de interés que hace nulo el valor actual neto.
Tobera o inyector	Elemento de regulación de caudal en las turbinas tipo Pelton o Turgo.
Toma de agua o bocatoma	Es la infraestructura encargada del desvío del agua desde el vaso del azud o la presa hacia el canal de aducción .
Transecto	Sección perpendicular al cauce del río.
Tubería de presión	Tubería que tiene como misión transportar el agua desde la cámara de carga hasta la turbina hidráulica.
Tubo de aspiración	Parte de una turbina hidráulica de reacción que se encuentra a la salida del rodete para provocar una depresión e incrementar la potencia y la energía producida por la turbina.
Turbina de acción	Turbina que trabaja a la presión atmosférica.
Turbina de reacción	Turbina en la que el agua rodea completamente el rodete. En el recorrido entre la entrada y la salida, la presión del agua disminuye hasta valores inferiores a la presión atmosférica.
Turbina Francis	Turbina que se utiliza con alturas de caída medias y altas.
Turbina Kaplan	Es un tipo de turbina utilizado en pequeñas alturas de caída.

Turbina Pelton	Tipo de turbina que, en las centrales hidroeléctricas mayores, utilizan grandes alturas de caída (más de 500-600 metros), pero también se utilizan en las centrales pequeñas, con menores alturas de caída y menor capacidad de admisión.
Valor actual neto	Se llama valor actual neto o valor presente, de una cantidad S a percibir al cabo de n años, con una tasa de interés i , a la cantidad que, si se dispusiera de ella hoy, nos generaría al cabo de n años la cantidad S .
Válvula	Dispositivo que puede cortar el paso de agua, total o parcialmente.
Válvula de admisión	Válvula que se encuentra a la entrada de la turbina y cuyo objeto es cortar el paso ante emergencias o paradas voluntarias de mantenimiento. Generalmente el cierre actúa por un contrapeso y se acciona en carrera completa entre 15 - 30 segundos.
Velocidad específica	Aplicable a toda la tipología de turbinas, tiene el mismo valor para turbinas semejantes. (Sinónimo: Rapidez Específica)
Vertedero de pared delgada o gruesa	Estructura de control fija e inalterable en un canal, donde a partir de la medida del nivel del agua se puede determinar el caudal.
Vertedero de seguridad	Estructura de evacuación de excedentes de agua producto de crecidas o fenómenos transientes (detención brusca, rechazo de carga).
Volumen útil o de regulación	Volumen total de agua disponible, entre el nivel mínimo y máximo de operación del embalse.
Volumen vertido	Es el agua que no puede ser utilizada en la central durante las crecidas. El caudal afluente es mayor a la capacidad de admisión de la central.

Fuente: Sweco - NVE "Desarrollo de Pequeños Proyectos Hidroeléctricos - Basado en la Experiencia Noruega" Traducido y adaptado a Chile por Norconsult Andina, Noruega (2011); IDAE "Minicentrales Hidroeléctricas" Manuales de Energías Renovables N° 6, octubre de 2006, España.