



MANUAL DE DISEÑO DE PROYECTOS MICROHIDROELÉCTRICOS EN OBRAS DE RIEGO

CONVENIO
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO – MINISTERIO DE ENERGÍA



MANUAL DE DISEÑO DE PROYECTOS MICROHIDROELÉCTRICOS EN OBRAS DE RIEGO

Elaborado por

Comisión Nacional de Riego

Revisión, Diseño y diagramación

Iris Valenzuela Widerström

Impresores

A Impresores S.A.

Santiago, Chile

I ÍNDICE GENERAL



ÍNDICE

1. Introducción	8
2. Glosario Técnico	14
3. Enfoque Metodológico	36
FASE 1. Precalificación y requisitos para la presentación	38
FASE 2. Diagnóstico preliminar de sitio	40
FASE 3. Prefactibilidad de Proyecto	41
FASE 4. Ingeniería conceptual	45
FASE 5. Ingeniería Básica y de Detalle	46
FASE 6. Construcción de la Microcentral Hidroeléctrica	47
FASE 7. Operación	47
4. Caracterización y Mercado de Microcentrales Hidroeléctricas	50
4.1. Clasificación de las centrales hidroeléctricas	51
4.2. Componentes de la instalación	55
4.3. Tipos de turbinas	58
4.3.1. Turbinas de acción	61
4.3.2. Turbinas de reacción	66
4.4. Proveedores de Microcentrales Hidroeléctricas	78

5. Selección de Turbinas	84
5.1. Por Rapidez Específica	85
5.2. Por Diagrama con rangos de aplicación	89
5.3. Eficiencia de turbina	93
6. Determinación del potencial hídrico y Régimen de crecidas	94
6.1. El ciclo hidrológico	95
6.2. Análisis estadístico de la información hidrométrica	96
6.2.1. Histograma de frecuencia de caudales	96
6.2.2. Curva de Duración de Caudales (CDC)	97
6.2.3. Caracterización de una cuenca	100
6.2.4. Información Meteorológica (fluviométrica y/o pluviométrica)	104
6.2.5. Medición de altura bruta	106
6.2.6. Estimación de la altura neta	119
6.2.7. Medición del caudal	121
6.3. Estimación de caudales máximos de crecidas con período de eterno	136
6.3.1. Métodos establecidos en el Manual DGA	136
7. Componentes de una Microcentral Hidroeléctric	138
7.1. Obras Civiles	139
7.1.1. Selección del sitio para bocatoma	142
7.1.2. Tipos de bocatoma	146
7.1.3. Desarenador	154
7.1.4. Conducción a superficie libre (canal abierto)	160
7.1.5. Conducción entubada a baja presión	171

7.1.6. Cámara de carga	174
7.1.7. Rejas finas	177
7.1.8. Tubería de presión	182
7.1.9. Casa de máquinas	195
7.2. Tablero eléctrico de control, medición y protección	197
7.2.1. Especificaciones Generales	197
7.2.2. Regulación de las microturbina	199
7.2.3. Malla de Puesta a Tierra	204
8. Dimensionado Microcentral y Determinación de Superficie de Riego Afecta	206
8.1. Ecuaciones básicas	207
8.2. Estimación de la Demanda de Energía (Riego)	209
8.3. Estimación de la Producción de Energía	209
8.3.1. Caudales medios mensuales (serie hidrológica)	209
8.3.2. Información hidrológica	210
8.3.3. Selección de caudal de diseño de la turbina hidráulica	212
8.3.4. Selección de turbina	213
8.3.5. Estimación de potencia instalada, generación anual y factor de planta	216
8.4. Cálculo de superficie de riego afecta por la generación hidroeléctrica	221
9. Factores Críticos para la Viabilidad de una Micro Hidroeléctrica	224
FASE 1. Levantamiento preliminar de información (Ficha 1)	225
FASE 2. Evaluación de sitio a nivel de prefactibilidad (Ficha 2)	226
10. Índice de Figuras y Tablas	228

1

| INTRODUCCIÓN



1. 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.

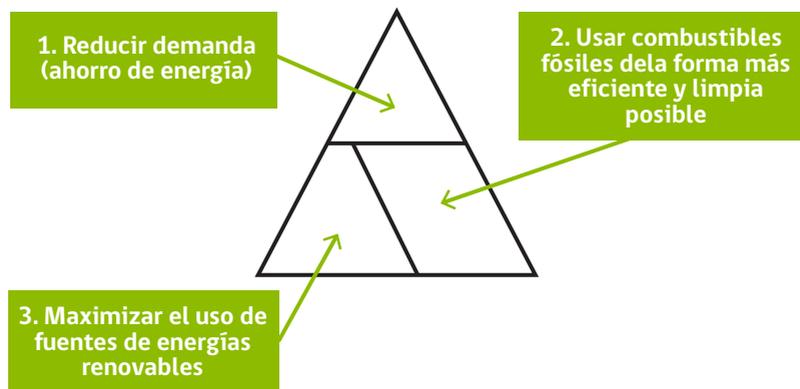


Fig. 1.1 - Esquema para el desarrollo energético en el siglo XXI.

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.

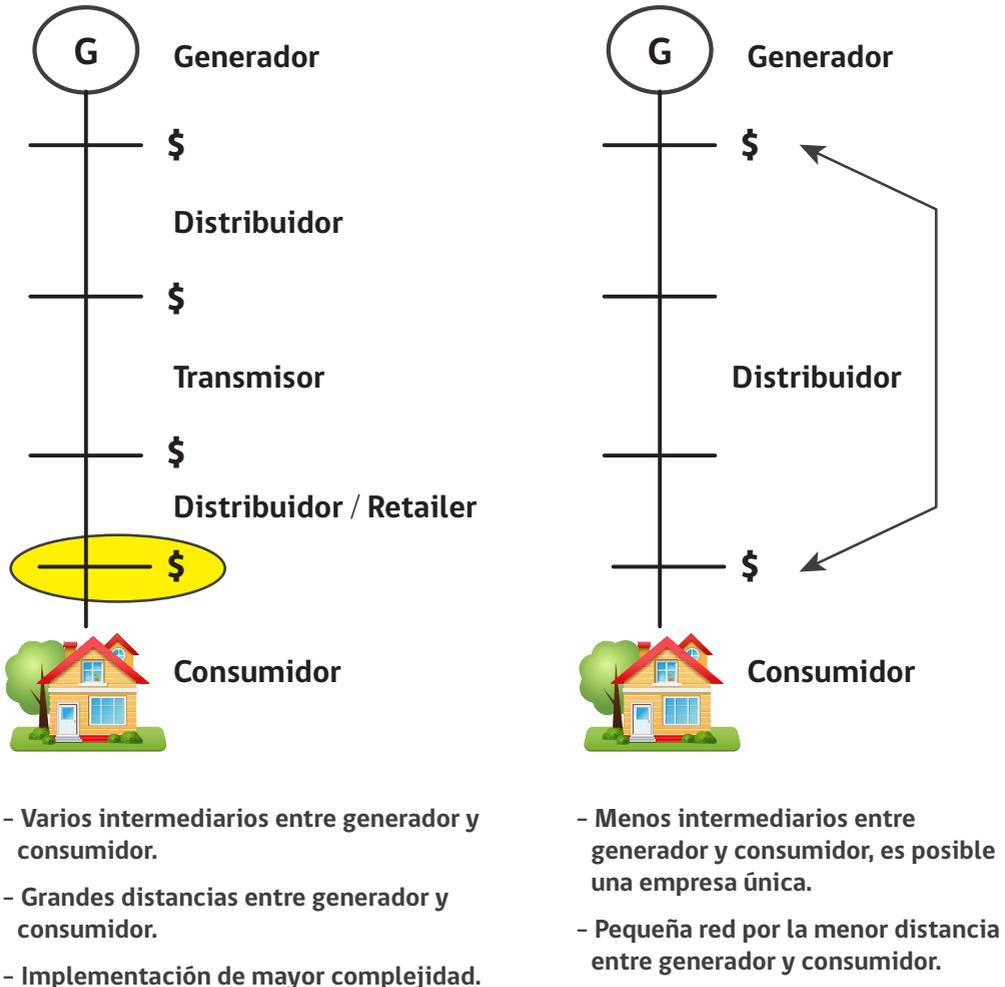


Fig. 1.2 - Comparación entre un sistema convencional de generación con red interconectada on-grid (izquierda) y una solución del tipo isla off-grid (derecha).

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.

Fuente: Elaboración propia.

Categoría		Parámetros
1	Localización de la microcentral	<ul style="list-style-type: none"> 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 (caminos) y topografía del terreno
2	Condiciones y requerimientos para empleo del recurso	<ul style="list-style-type: none"> 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 afectados por la obra (servidumbres de paso, pendientes, suelos).
3	Productividad de los usos finales	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> a) Disposición y capacidad de pago por el servicio b) Creación de fondo para operador y costos de operación y mantenimiento

Categoría	Parámetros
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

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

| 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 No18.450, 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 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 Hm ³ = 1.000.000 m ³)
Áreas silvestres protegidas	Es una denominación para zonas libres de intervenciones en la naturaleza.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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 2o del artículo 4o de la Ley No18.450, 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 Patas 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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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

TÉRMINO	DEFINICIÓN
Casa de Máquinas	Edificio que alberga la unidad turbina-generador 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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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 construidos 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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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.
Coefficiente de Chezy	Su valor depende del radio hidráulico y del coeficiente de rugosidad del material. Es adimensional.
Coefficiente de escorrentía	Es la relación entre la aportación al río y la precipitación. Es un valor adimensional.
Coefficiente 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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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 irroge 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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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.
Escorrentía	Precipitación que fluye por los ríos hasta el mar.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
Energía anual promedio	Es la producción estimada, promedio anual de varios años [kWh/año].
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 divortium-aquarum 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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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]

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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 No18.450, 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 No 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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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 Na18.450 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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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 singulares	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].

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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 No2 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 beneficien 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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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 No18.450 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 T ensión.
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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
Socaz	Nivel del agua en el canal de desagüe o en denominación de la RAE “Trozo de cauce que hay debajo del molino o batán hasta la madre del río”.
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 No18.450, 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.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
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 No 6, octubre de 2006, España.

3

ENFOQUE
METODOLÓGICO



3. Enfoque Metodológico

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. 3.1



Fig. 3.1 – 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 emplear 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 hidrocínéticas, 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 No 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 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.



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.

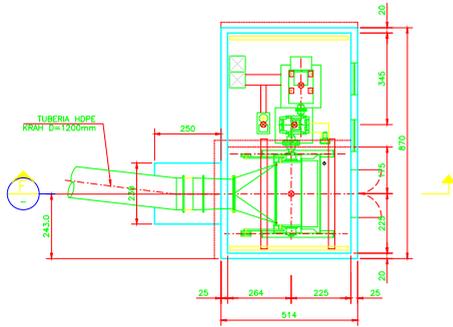
● Potencia instalada, generación y superficie afecta.

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

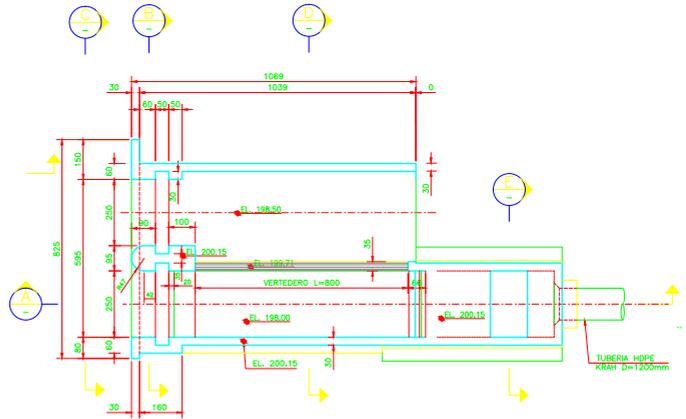
● Diseño preliminar de la central

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

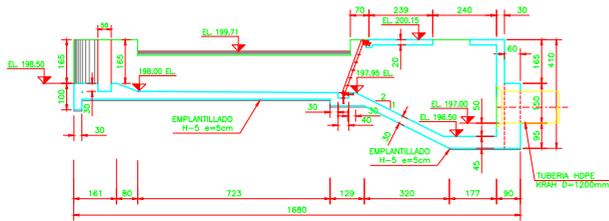
- Obras civiles (bocatoma y vertedero, canal de toma, tubería, Casa de Máquinas, canal de restitución, acceso al sitio, detalles gruesos de construcción)
- Equipamiento Electromecánico (turbina, transmisión, generador, sistema de control) e instalaciones accesorias.
- Punto de conexión (Punto de alimentación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



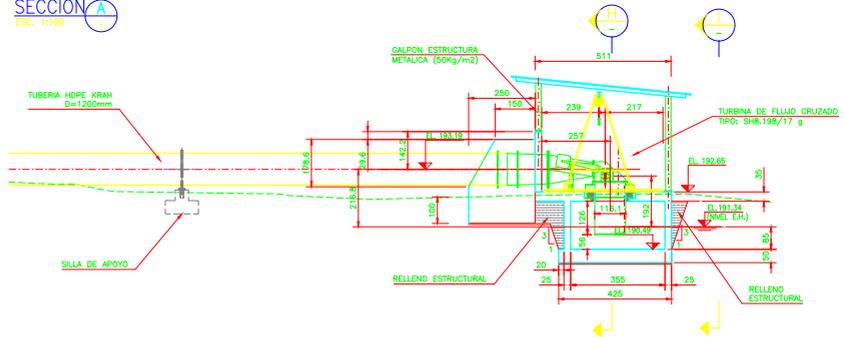
PLANTA CASA DE MAQUINAS
ESCALA 1:100



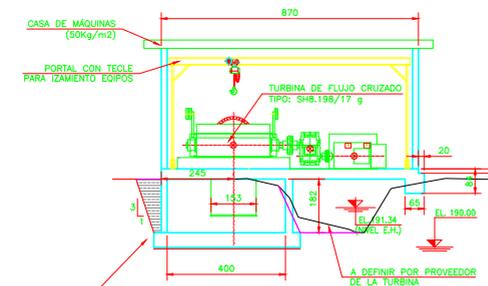
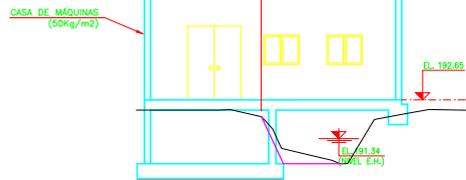
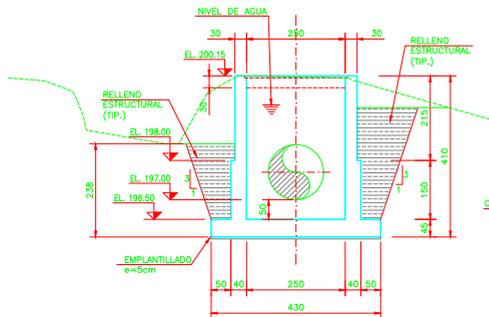
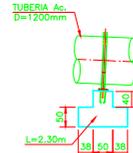
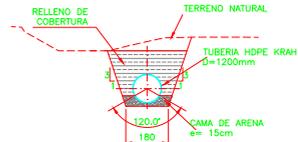
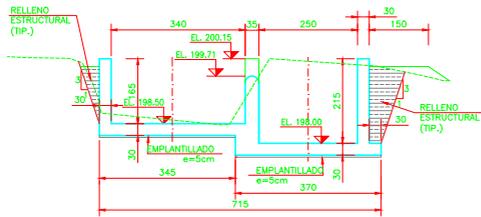
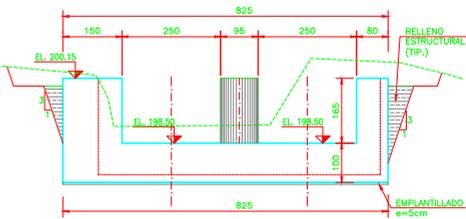
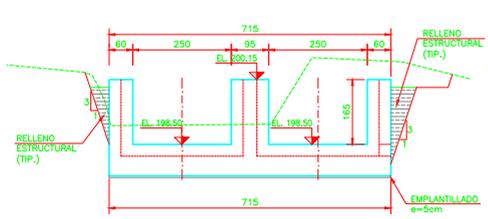
PLANTA CAMARA DE CARGA
ESCALA 1:100



SECCION A-A
ESC. 1:100



SECCION F-F
ESC. 1:100



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 Desripador
- 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)

• 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)

- **Presupuestos**

- Cubicaciones Básicas
- Análisis de Precios Unitarios
- Presupuesto Estimativo de Obras

- **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 proceso de selección de la empresa constructora será 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 No 36 Autores Eduardo Briceño et al, Perú (2008).

Tabla. 3.1 - Ejemplo de acciones de Mantenimiento de obras civiles en central hidroeléctrica.

Fuente: Soluciones Prácticas - ITDG "Manual de capacitación en operación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas" Serie Manuales No 36 Autores Eduardo Briceño et al, Perú (2008) Página 31.

BOCATOMA		
1. Limpieza de la bocatoma	Cada tres meses	Semanal, quincenal
2. Engrase de compuertas	Cada seis meses	Cada mes
3. Control de funcionamiento de las compuertas	Cada día	Cada día
4. Inspección de la bocatoma	Cada tres meses	Semanalmente
5. Pintado de compuertas con pintura anticorrosiva	Anualmente	Anualmente
DESARENADOR		
1. Purga el desarenador	Cada dos meses	Semanal, quincenal
2. Engrase de compuertas	Cada seis meses	Cada dos meses
3. Control de funcionamiento de las compuertas	Durante la purga	Durante la purga
4. Limpieza total del desarenador	Cada dos meses	Cada quince días
5. Pintado de compuertas con pintura anticorrosiva	Anualmente	Anualmente
6. Inspección de la estructura el desarenador	Anualmente	Anualmente
CANAL		
1. Vigilar el canal eliminando obstrucciones si las hay	Diariamente	Diariamente
2. Limpieza total del canal incluyendo talud	Cada seis meses	Cada seis meses
3. Reparación del canal	Según estado	Según estado
4. Inspección de todo el canal especialmente en la zona de derrumbes	Anualmente	Anualmente
CÁMARA DE CARGA		
1. Limpieza de la rejilla, eliminando hojas, ramas, sólidos flotantes	Diariamente en el día	Diariamente en el día
2. Purgar la cámara de carga	Cada tres meses	Cada dos meses
3. Limpieza de la cámara de carga	Cada tres meses	Cada dos meses
4. Engrase de compuertas	Cada seis meses	Cada seis meses
5. Control de funcionamiento de las compuertas	Durante la purga	Durante la purga
6. Pintado de compuertas con pintura anticorrosiva	Anualmente	Anualmente
7. Inspección de la estructura del desarenador	Anualmente	Anualmente

<p>TUBERÍA DE PRESIÓN Acero</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inspecciones para determinar si hay fugas en las conexiones o unines 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 este totalmente aparejada y anclada. 6. Drenaje de agua de lluvia en recorrido de tubería 	<p>Cada tres meses / Anual</p> <p>Según estado</p> <p>Según estado</p> <p>Si es zona de suelos poco estables (anual)</p> <p>Si es que hay deslizamientos</p> <p>Semestral</p>	<p>Cada mes / Anual</p> <p>Según estado</p> <p>Según estado</p> <p>Semestralmente</p> <p>Si es que hay deslizamientos</p> <p>Cada tres meses</p>
<p>CANAL DE DESCARGA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inspección del canal de descarga 		

4

CARACTERIZACIÓN Y MERCADO DE MICRO HIDROELÉCTRICAS



4. Caracterización y Mercado de Microcentrales Hidroeléctricas

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.

4.1. 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**

Las 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 4.1 indica las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de centrales así como las potencias en las que se emplean.

Tabla. 4.1 – Clasificación de las centrales hidráulicas según la forma de captación y la capacidad de regulación del recurso.

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).

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 de 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 flora local pueden ser alteradas.

Otra posible clasificación de los sistemas hidráulicos es según la potencia instalada de generación eléctrica y las aplicaciones; se presenta en la Tabla 4.2.

Tabla. 4.2 - Clasificación de las centrales hidráulicas según la potencia instalada.

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).

Nombre	Potencia	Mercado / Aplicaciones
Nano centrales	< 1kW	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 kW	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 10 MW	Para una pequeña ciudad y comunidades, además de conexión a la red.
Gran central	> 10 MW	Sistema de gran escala para conexión a red.

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 producir (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 más populares debido al gran desarrollo de componentes con electrónica de estado sólido.

4.2. Componentes de la instalación

La Fig. 4.1 muestra un emplazamiento típico de central de pasada con sus principales componentes.

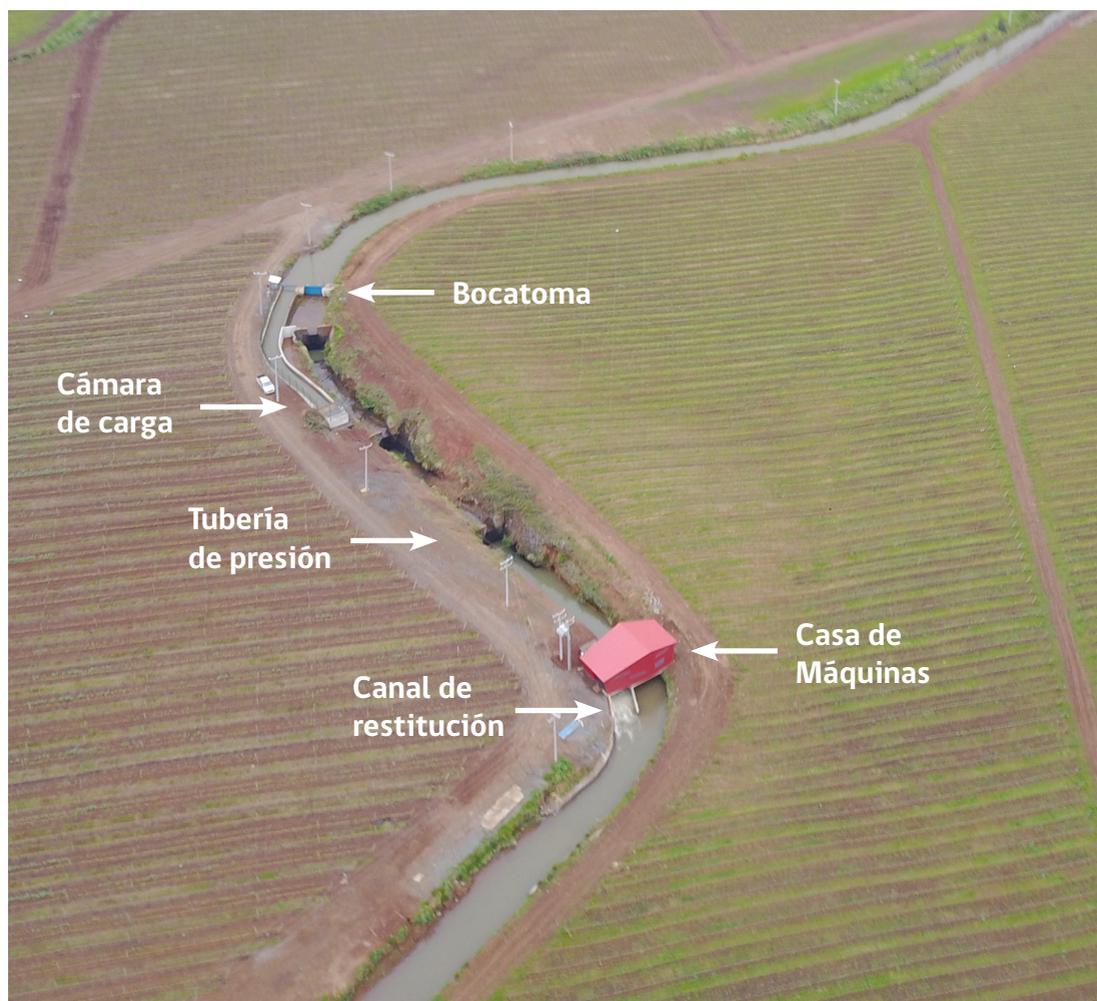


Fig. 4.1 – Esquema de instalación de microcentral con sus principales componentes.

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 4.3:

Tabla. 4.3 – Componentes de una central hidroeléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

Obras Civiles	<ul style="list-style-type: none"> - Obra de toma (Bocatoma) - Desarenador - Canal de aducción - Cámara de Carga - Tubería de presión - Casa de Máquinas - Canal de restitución
Equipamiento electromecánico	<ul style="list-style-type: none"> - Turbina - Generador - Regulador - Válvulas - Tableros de Fuerza y Control
Sistema eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> - Transformadores - Líneas de Subtransmisión - Redes de distribución

• 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

4.3. 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 4.4 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 hidrocinéticas o “de corriente”, sumergidas en la corriente de ríos muy profundos.

Tabla. 4.4 - Tipos de turbinas empleadas en esquemas micro hidráulicos.

Fuente: Elaboración propia.

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



Turbina SemiKaplan



Turbina Turgo

Fig. 4.2 - Tipos de turbinas para la generación hidroeléctrica 1.

Fuente: Elaboración propia.



Turbina Kaplan



Turbina Tornillo



Turbina Hidrocinética



Turbina Pelton

Fig. 4.3 - Tipos de turbinas para la generación hidroeléctrica 2.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1. 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 descanso de empuje vertical que debe resistir el peso del generador más el del rodete y del eje.



Fig. 4.4 - Turbina Pelton de 12 kW en un sistema isla instalada en Talabre - Chile.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.5 – Turbina Pelton operando con 100 l/s, altura bruta de 90 m, potencia de 100 kW, instalada en Socaire –Chile.

Fuente: Elaboración propia.

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. 4.6 - Turbina Turgo de 4 kW emplazada en Mañihuales -Chile.

Fuente: Elaboración propia.

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 álabes 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. 4.7 - Turbina flujo cruzado de 370kW instalada en Faja Maisan -Chile.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.8 - Turbina de flujo cruzado el caudal es de 380 l/s y posee una altura bruta de 18m, con potencia de 37,6 kW, instalada en Río Grande -Chile.

Fuente: Elaboración propia.

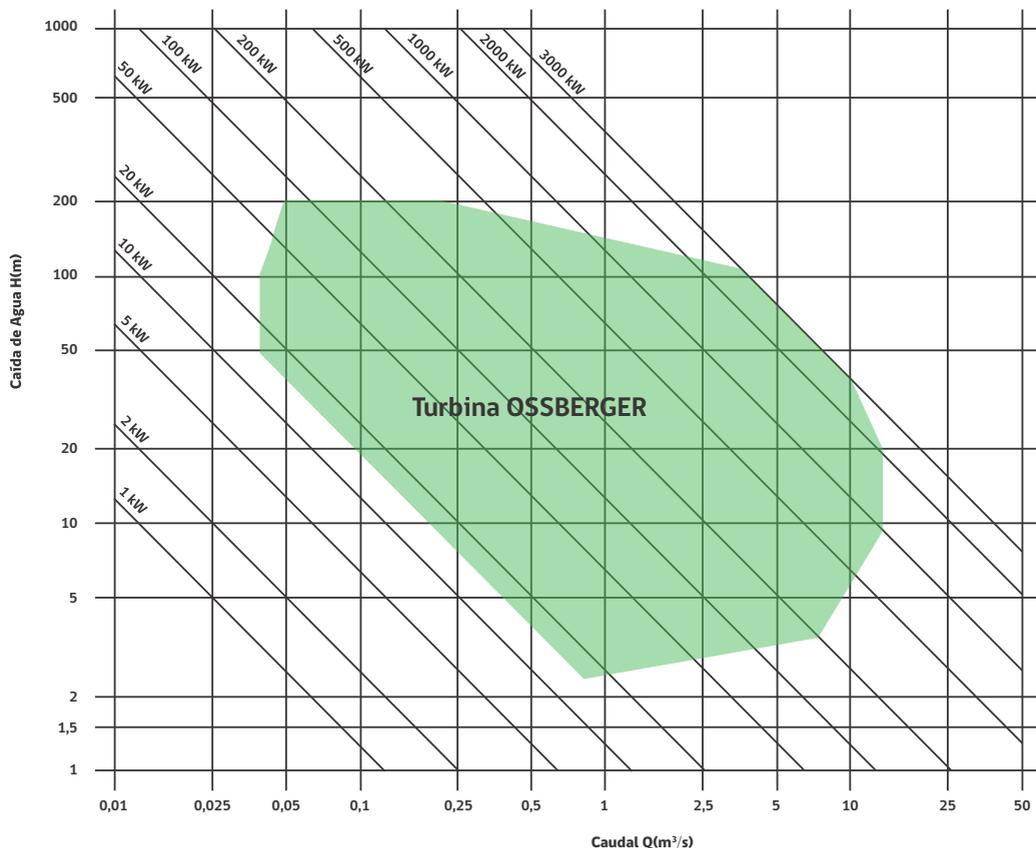


Fig. 4.9 - Diagrama de cálculo de potencia para turbina flujo cruzado (Rango de operación de 2,5 a 200 [m] y potencias de 10 a 3.000 [kW])

Fuente: Ossberger GmbH

4.3.2. 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.



Fig. 4.10 - Turbina Francis instalada en Puerto Natales - Chile.
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.11 - Turbina Francis instalada en Temuco - Chile.
Fuente: Elaboración propia.

e) 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. Este tipo de turbinas se emplea generalmente para saltos pequeños y caudales variables o grandes.

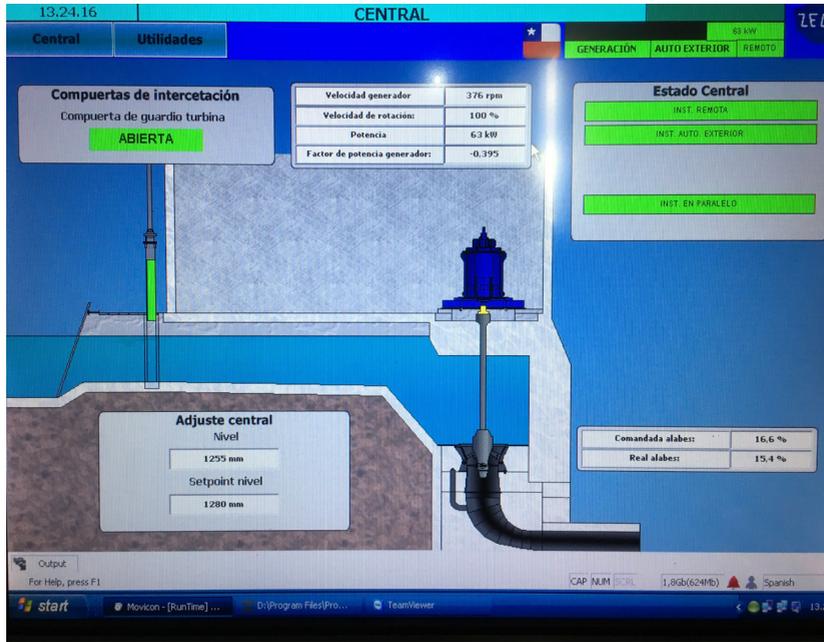


Fig. 4.12- Simulación computacional de la trayectoria del agua en una turbina Kaplan.
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.13 - Generador de Turbina Kaplan de 250 kW, Agrícola Dosal, Curicó - Chile.
Fuente: Elaboración propia.

f) 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. 4.14 - Central hidro con Turbina Semi-Kaplan de 500 kW Central Munitque 1 Canal Biobio Negrete - Chile.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.15 – Central con turbina Francis Central Bureo Canal Biobío Negrete – Chile.

Fuente: Elaboración propia.

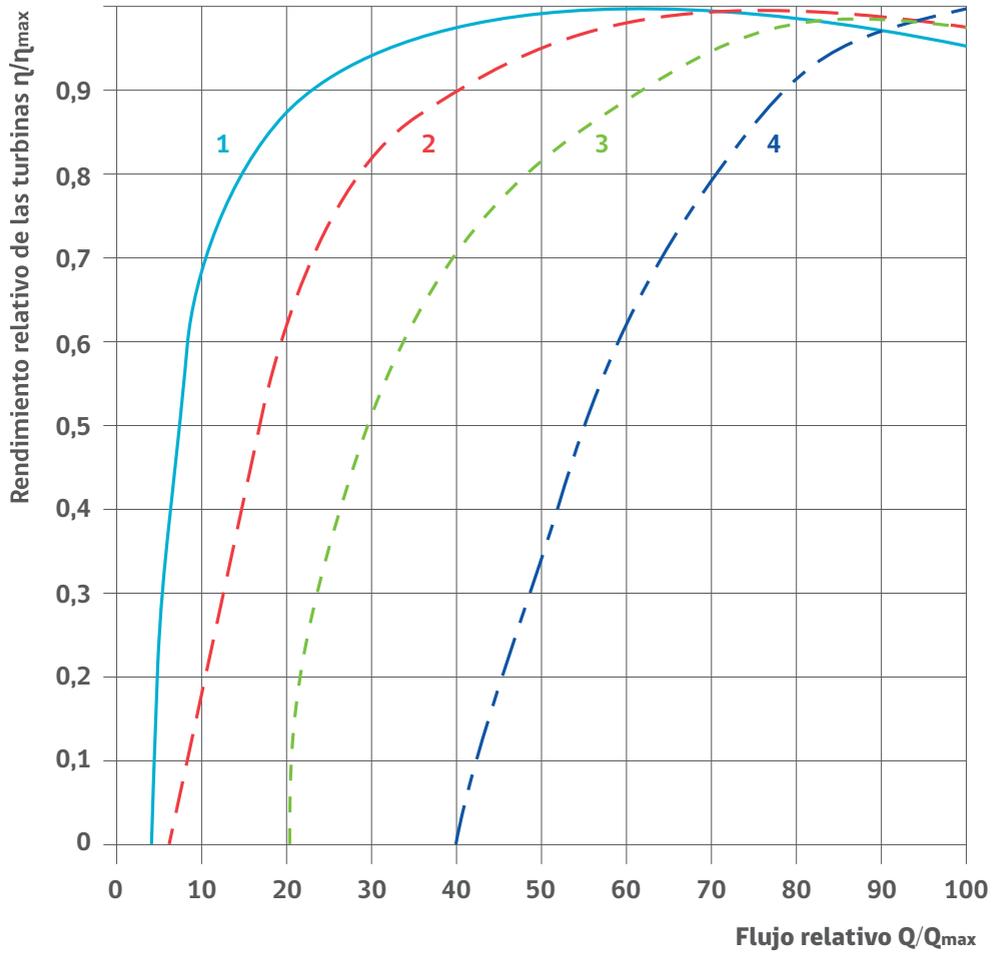
g) Bombas como turbinas

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:

- Captación de agua cuyo caudal es muy superior al caudal extraído para turbinar.
- Caudal de alimentación muy constante en torno al valor del caudal de selección de la bomba como turbina.
- 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 4.16.



Orden de magnitud de rendimientos máximos η_{\max} :

Curva 1:	Turbinas Pelton	η_{\max} : 84 - 90%
	Turbina Crossflow 2 celdas	η_{\max} : 78 - 84%
Curva 2:	Turbina Kaplan	η_{\max} : 84 - 90%
	Turbina Francis	η_{\max} : 84 - 90%
Curva 3:	Turbina Francis	η_{\max} : 84 - 90%
	Turbina Crossflow 1 celda	η_{\max} : 78 - 84%
Curva 4:	Bomba invertida	η_{\max} : 75 - 90%

Fig. 4.16 - Comparación entre las curvas de rendimientos para diferentes tipos de turbinas.
Fuente: PACER "Turbinas Hydrauliques" Journées de Formation pour Ingenieurs (1995).

En la figura 4.17 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.

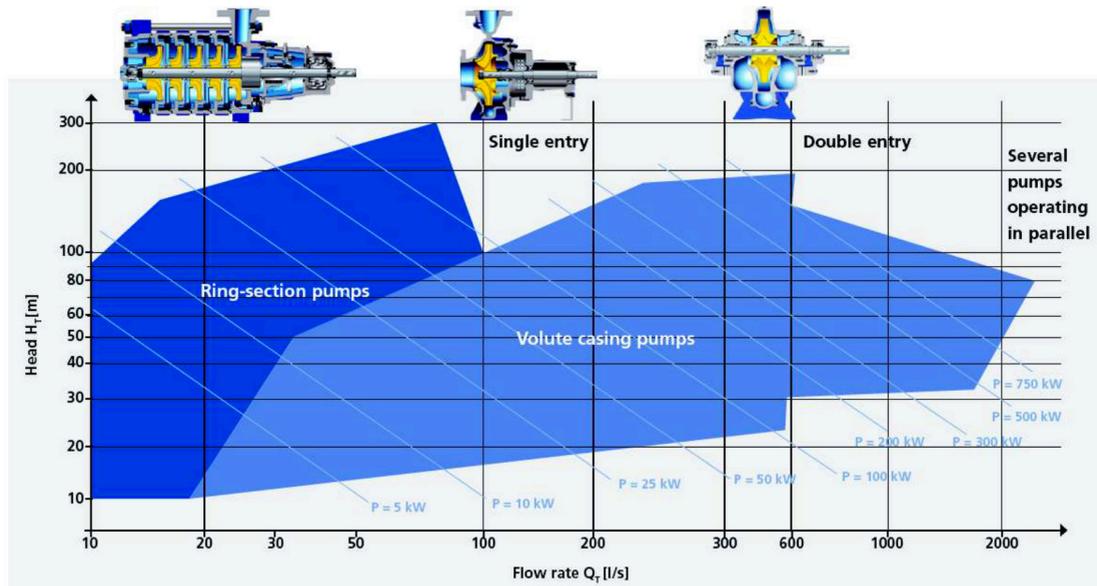


Fig. 4.17 - Diagrama de selección de bombas como turbinas de KSB (5 - 750 kW).

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. 4.18 – Tornillo Arquímedes Central Alto La Viña Canal Biobío Sur – Chile.
Fuente: HLT Energía.

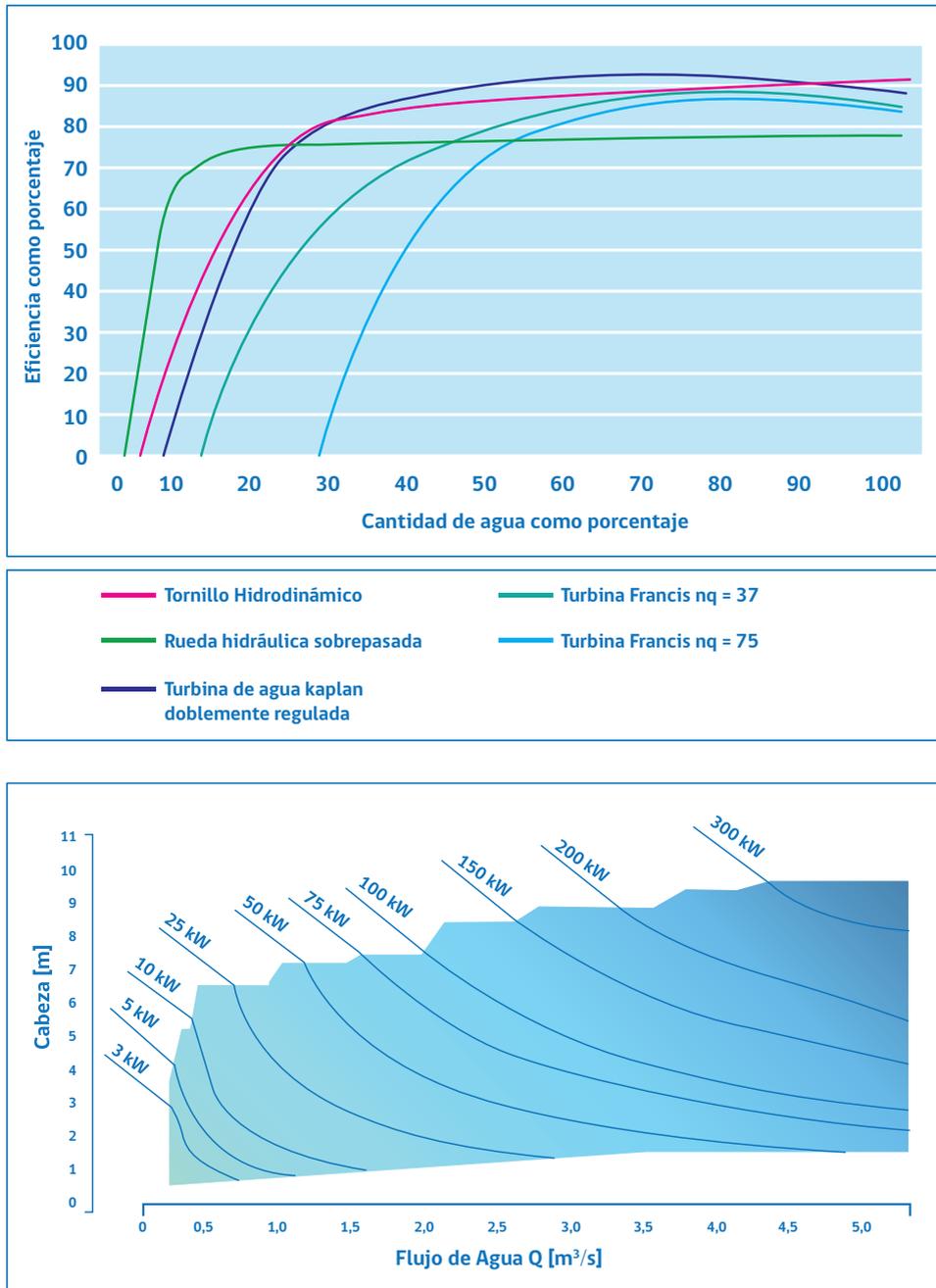


Fig. 4.19 - Rendimiento comparativo de turbinas tipo Tornillo de Arquímedes, producción de energía para diferentes pares caudal altura de operación.

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. 4.20 - Turbina hidrocinética de 0,5kW instalada en Linares - Chile.

Fuente: Elaboración propia.

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.

4.4. 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 hidrocínéticas

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. 4.5 - Proveedores relevantes de sistemas de microhidrogeneración (Potencia ≤ 100 kW).

Fuente: Elaboración propia.

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/pfdetail?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	Hidrocinéticas (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/hydroturbines.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

Fabricante	Tipo	Origen	Página web	Potencia kW	
				Mín.	Máx.
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 Hidroelectric	Pelton	USA	www.harrishydro.biz	0,5	1
Hoehenergie	Pelton	Suiza	www.hoehenergie.ch	1	30
Hydrolynk	Pelton, Francis, Kaplan	Noruega	www.hydrolink.cz/en/reference-list/reference-list-34.html	8	3.000
Hydroquest	Hidrocínética 10000	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.hydrolink.cz/en/	8	10.000

Fabricante	Tipo	Origen	Página web	Potencia kW	
				Mín.	Máx.
Irem Spa	Pelton Flujo Cruzado	Italia	www.irem.it	0,05 1	750 150
JLA & Co	Flujo Cruzado	Bélgica	www.jlahydro.be	2	120
Koesler	Kaplan, Francis, Pelton	Alemania	www.koessler.com/en	14	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-screwsen. pdf	3	300
Jag Seabell Co. Ltd	Hidrocínicas	Japón	http://www.jagseabell.jp	1	20

Fabricante	Tipo	Origen	Página web	Potencia kW	
				Mín.	Máx.
Smart Hydro Power GmbH	Hidrocinéticas	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	5.00
WIEGERT AND BÄHR	Francis, Kaplan, Pelton, Flujo Cruzado	Alemania	www.wb-wasserkraft.de	100 100 100 35	5.000 3.000 5.000 500
Zeco Cerbaro	Kaplan, Francis, Pelton, Tornillo de Arquímedes	Italia	www.zeco.it/?lang=es	60 60 60 30	6.000 10.000 12.000 150

5

SELECCIÓN
DE TURBINAS



5. 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 5.1 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.

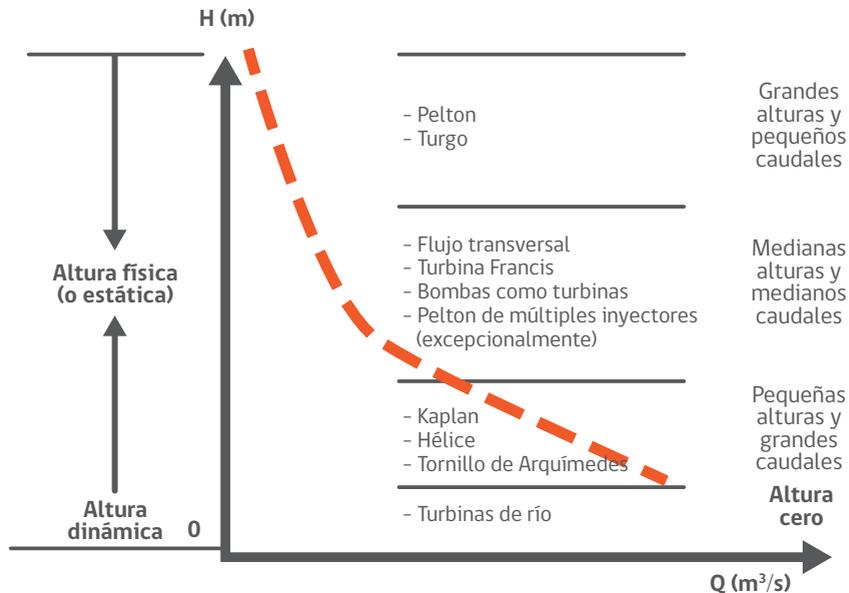


Fig. 5.1 - Aplicación de diferentes tipos de turbinas según caudal y altura de operación.

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.

5.1. 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

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

donde,

P: Potencia en bornes en [kW]

Q: Caudal, en [m³/s]

H_n: Altura de carga neta, en [m] **h_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 $h_g = 0,80$ se obtienen los siguientes valores:

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

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

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. 5.1 - 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	9 - 18
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 5.1 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. 5.2 - Turbina Flujo Cruzado instalada en Faja Maisan - Chile.
Fuente: Elaboración propia.

5.2. 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.

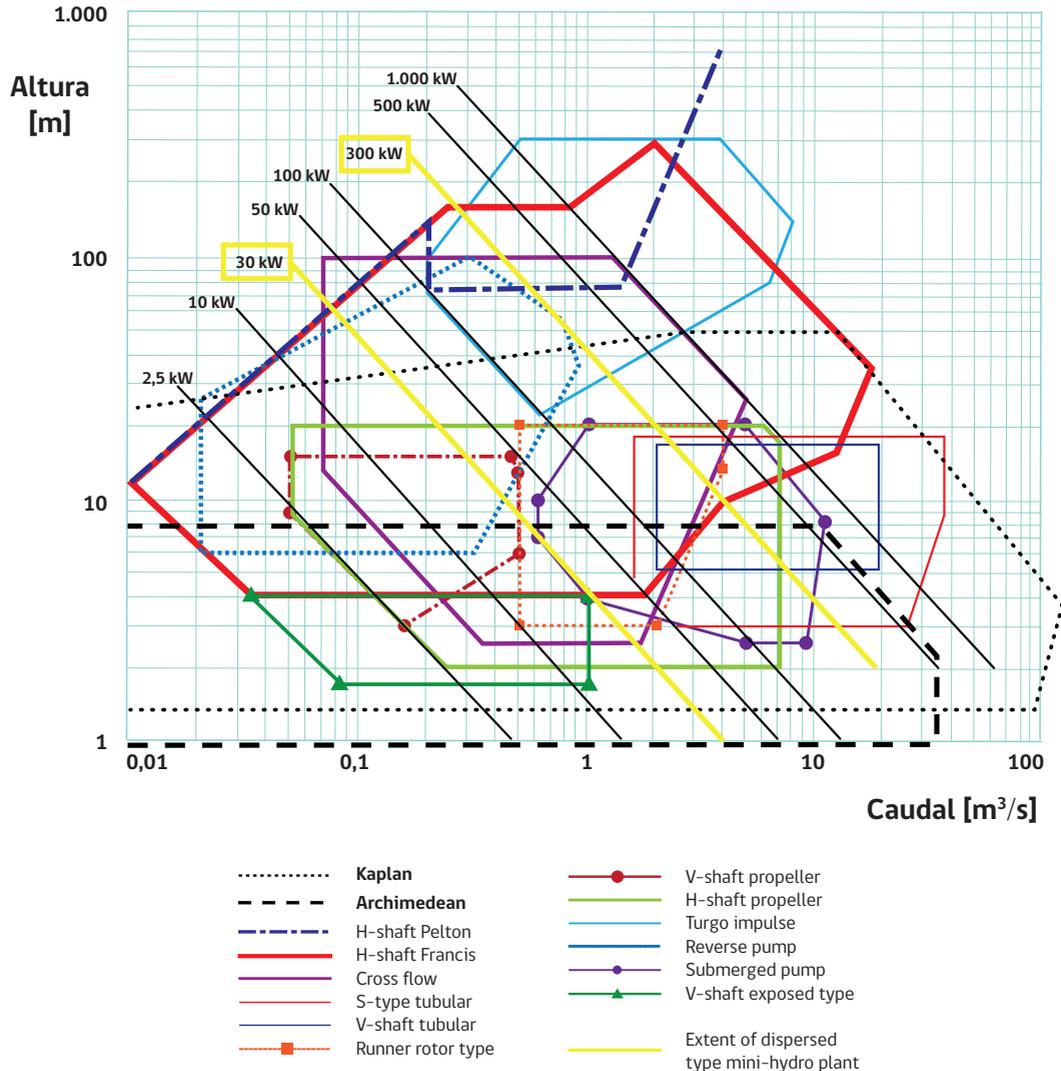


Fig. 5.3 - Rangos de aplicación y selección de las turbinas.

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 austriaco que se muestra en la figura 5.4, 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 5.5 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.

$Q = 0,250 \text{ m}^3/\text{s}$ $H = 40 \text{ m}$ $P = 88 \text{ kW}$

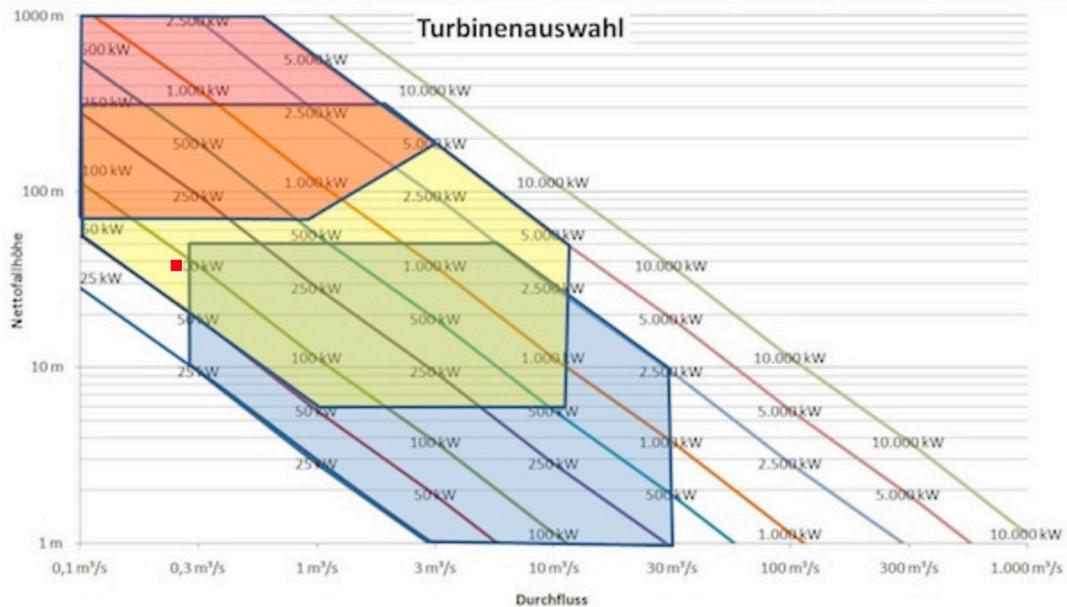


Fig. 5.4 - Diagrama de selección de turbina fabricante 1.

Fuente: <http://www.wws-wasserkraft.at/en/water-turbines-technology.html>

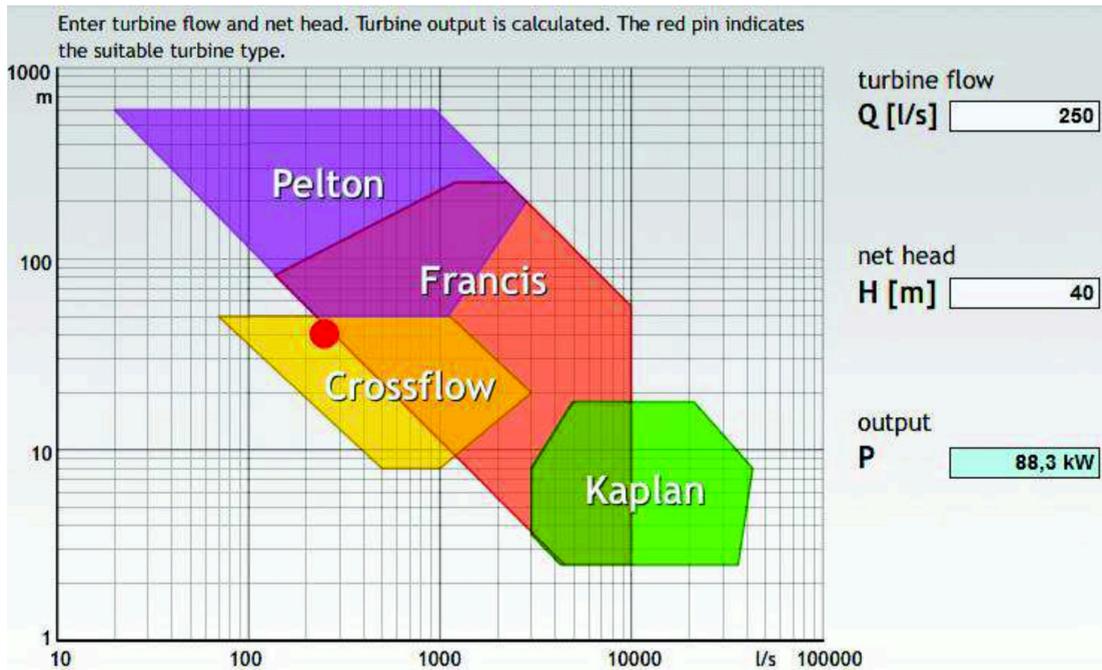


Fig. 5.5 - Diagrama de selección de turbina fabricante 2.

Fuente: <http://www.wb-wasserkraft.de/flash/en/index.html>

NOTA: Para efectos de apoyar el desarrollo hidroeléctrico en obras de riego en Chile, el convenio de colaboración para el fomento de las energías renovables entre la Comisión Nacional de Riego y el Ministerio de Energía ha dispuesto del siguiente diagrama de selección (figura 5.6), el cual puede ser empleado por los consultores que deseen evaluar el potencial hidroeléctrico de cualquier sitio en el país

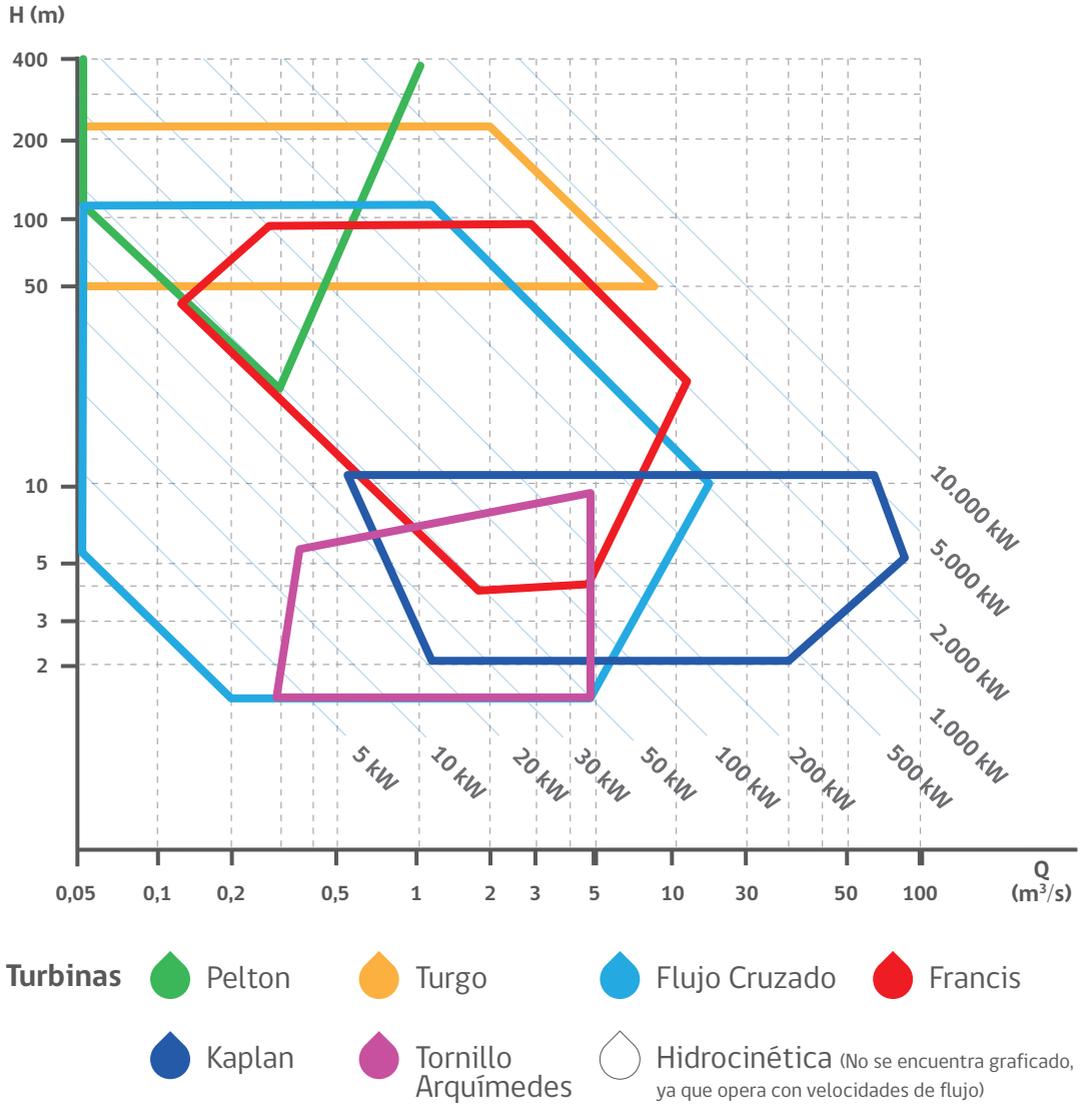


Fig. 5.6 - Diagrama de selección de turbina recomendado.

Fuente: Elaboración Propia

5.3. 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 $\eta\%$ (ordenada) versus Q/Q_{max} (abscisa) como los presentados en la figura 5.7.

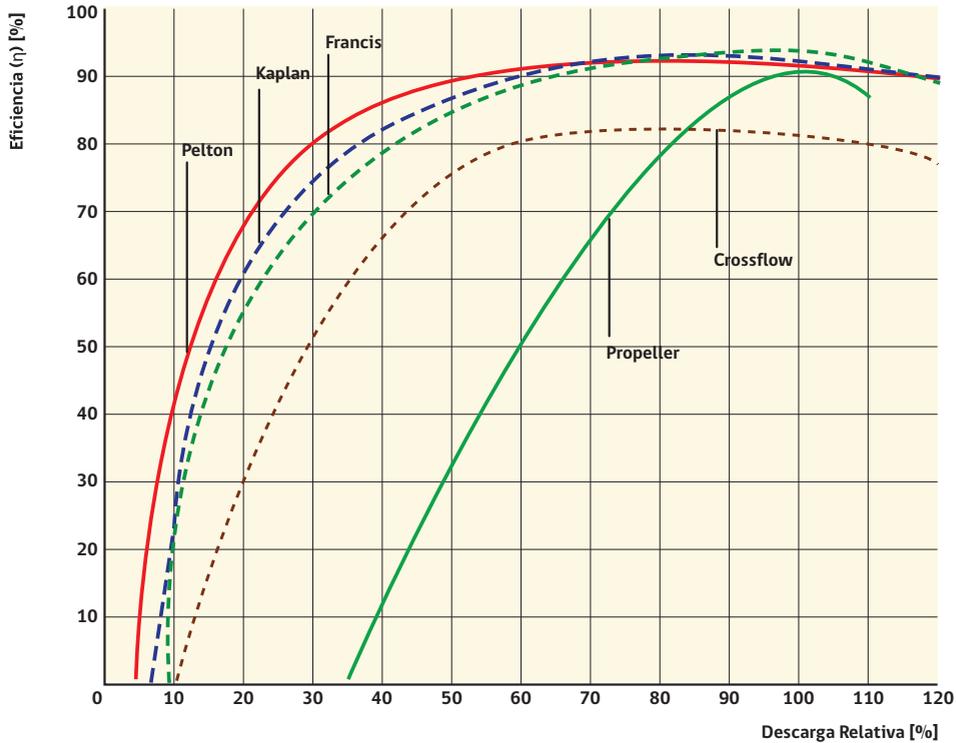


Fig. 5.7 - Curvas típicas de eficiencia para diferentes tipos de turbinas.

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. Zwicker, 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 5.7 se emplean para calcular la potencia para cada rango de caudal cuando se calcula energía generada.

6

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO Y RÉGIMEN DE CRECIDAS



6. Determinación del potencial hídrico y Régimen de crecidas

6.1. El ciclo hidrológico

El caudal de un río depende de la zona de captación y del volumen de precipitaciones. En la Figura 6.1 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.

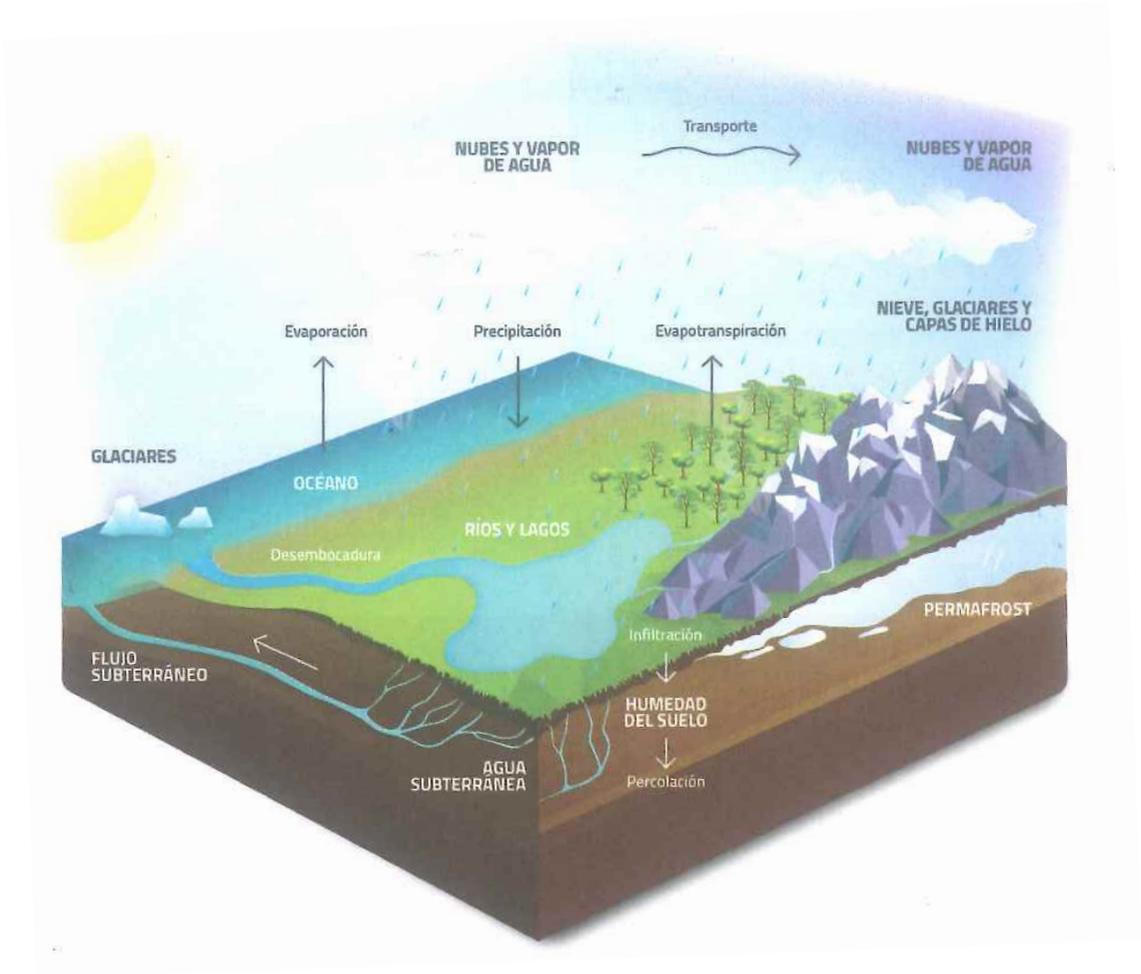


Fig. 6.1 – El ciclo hidrológico.

Fuente: Cambio Climático en Chile, Ciencia, Mitigación y Adaptación, Cambio Global Centro UC (2019).

Las líneas discontinuas en la figura 6.2 indican la cuenca del punto A y el punto B.

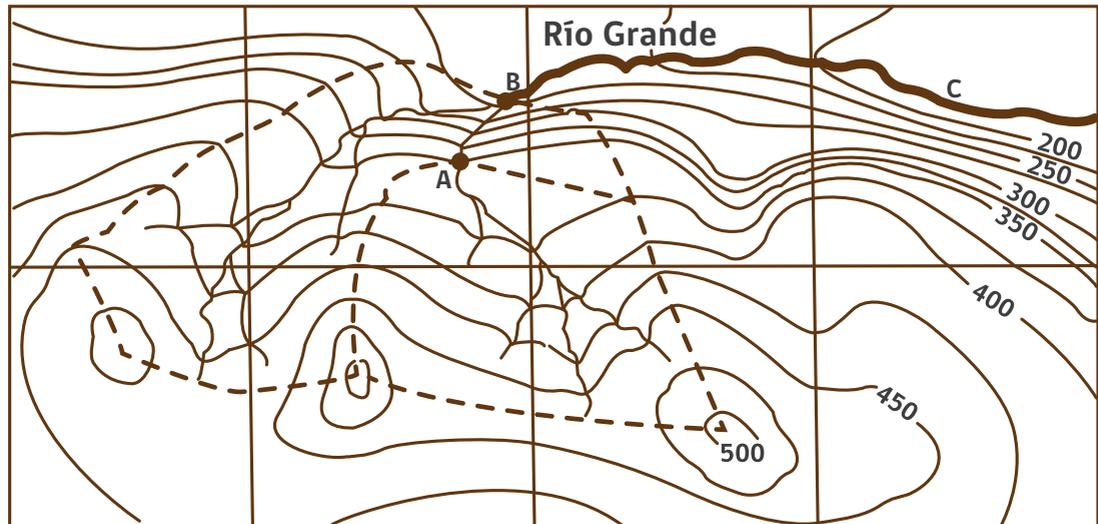


Fig. 6.2 - Áreas aportantes en una cuenca entre dos cursos a un mismo punto B.

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.

6.2. Análisis estadístico de la información hidrométrica

6.2.1. 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.

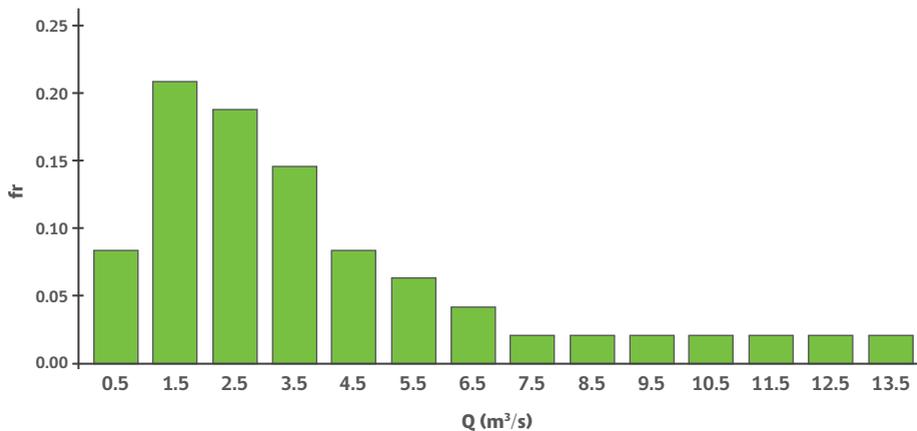


Fig. 6.3 - Histograma de frecuencia de caudales.

La interpretación del valor en la gráfica es que por ejemplo aproximadamente el 21 % del tiempo está presenta 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.

6.2.2. 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 6.4); 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. 6.4

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.

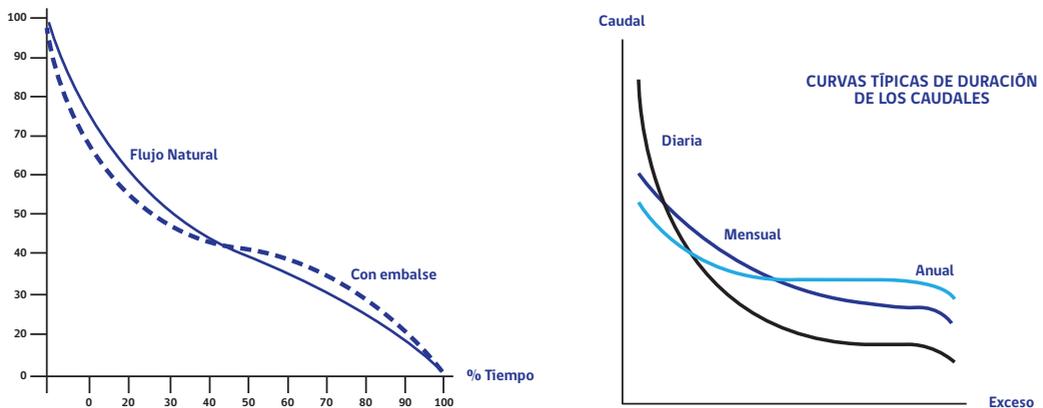


Fig. 6.4 - Curvas de Duración de Caudales, con regulación (izq.) y formas según el tipo de dato empleado (diario, mensual, anual) (der.).

Fuente: ONUDI "Energía Minihidráulica - Aplicación a su desarrollo en Latinoamérica y Caribe" Adrada, 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. 6.5):

- **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.

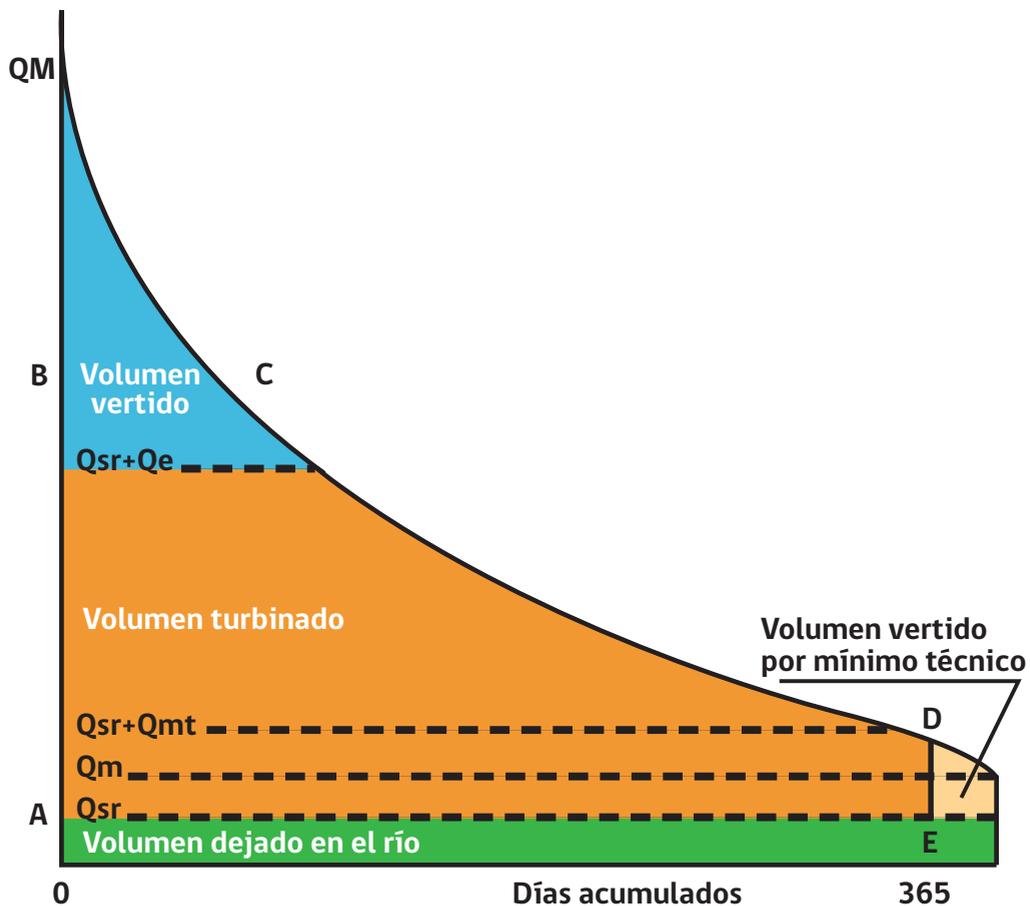


Fig. 6.5 – Curva de Duración de Caudales.

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 6.5 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.

6.2.3 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:

- **Coficiente 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. 6.1 – Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad K_c

Fuente: Ortiz Vera, Oswald. "Evaluación Hidrológica". Revista Hidrored No 1 (2004), Página 2.

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 III	1.51 a 1.75	Oval - oblonga a rectangular - oblonga

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,

H_m: 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 6.6 y Tabla 6.2 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.

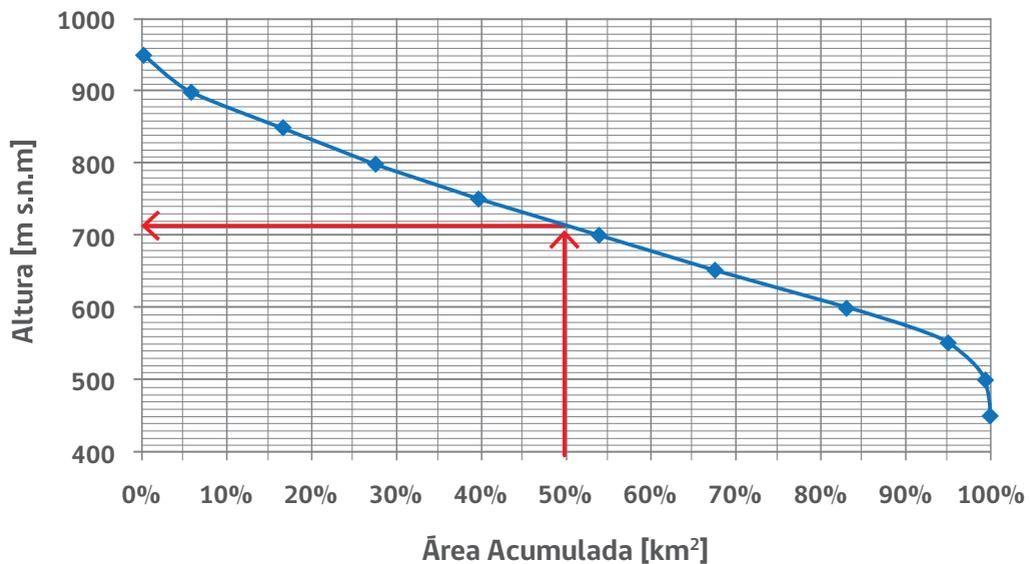


Fig. 6.6 - Ejemplo de Curva Hipsométrica de un cauce mostrando la altura media de la cuenca.

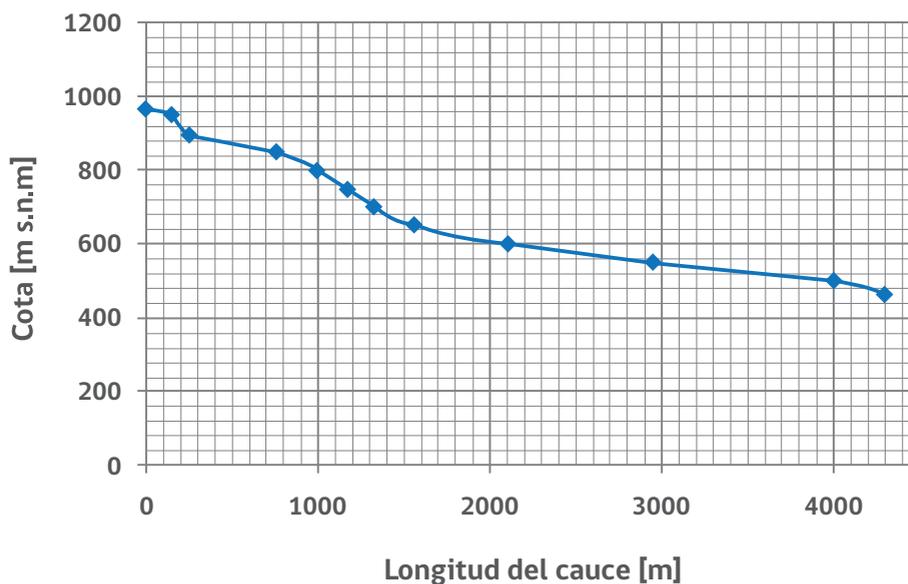
Fuente: Elaboración propia.

Tabla. 6.2 - Distribución de áreas y elevación en una cuenca.

Fuente: Elaboración propia.

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

En la Figura 6.7 y Tabla 6.3 se presentan los valores medidos de cota y tramo del cauce para la determinación de la pendiente del mismo.

**Fig. 6.7 - Pendiente de un cauce.**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla. 6.3 – Estimación de pendiente de un cauce.

Fuente: Elaboración propia.

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

6.2.4 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 verificará 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 6.8). 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.

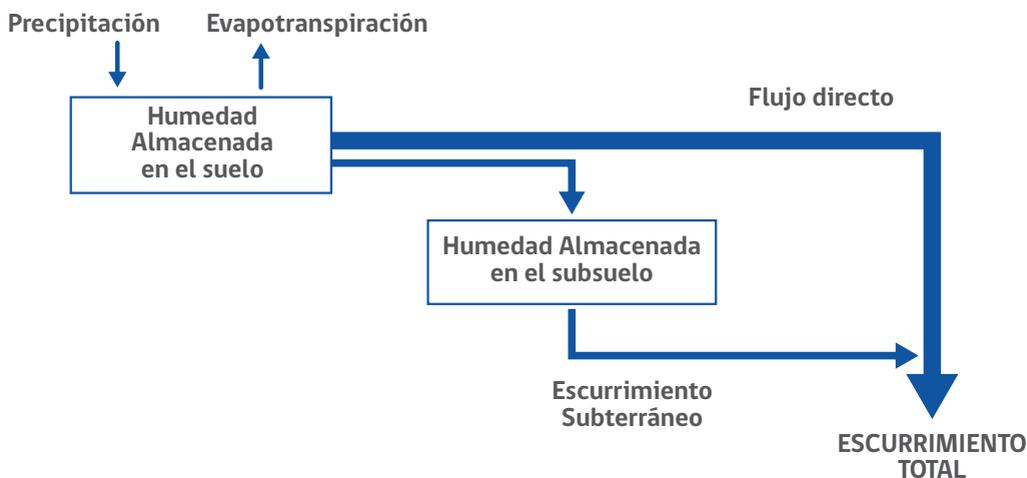


Fig. 6.8 – Flowsheet típico de Balance hidrológico de una cuenca (Método NRECA).

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.

6.2.5 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 6.4, 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. 6.4 – Métodos de medición de caída bruta.

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	Ventajas y Limitaciones	Precisión	Observaciones
Manguera de nivelación	Agotador para caídas altas, rápido para pequeñas caídas	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 caídas pequeñas cuando no se dispone de otro método
Altímetro	Usado en caídas altas y medianas (> 40m), 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 caídas altas, no se necesita viajar al lugar y tiene bajo costo	Aceptable para perfiles y prefactibilidad	Se necesita destreza para leer planos

• 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).

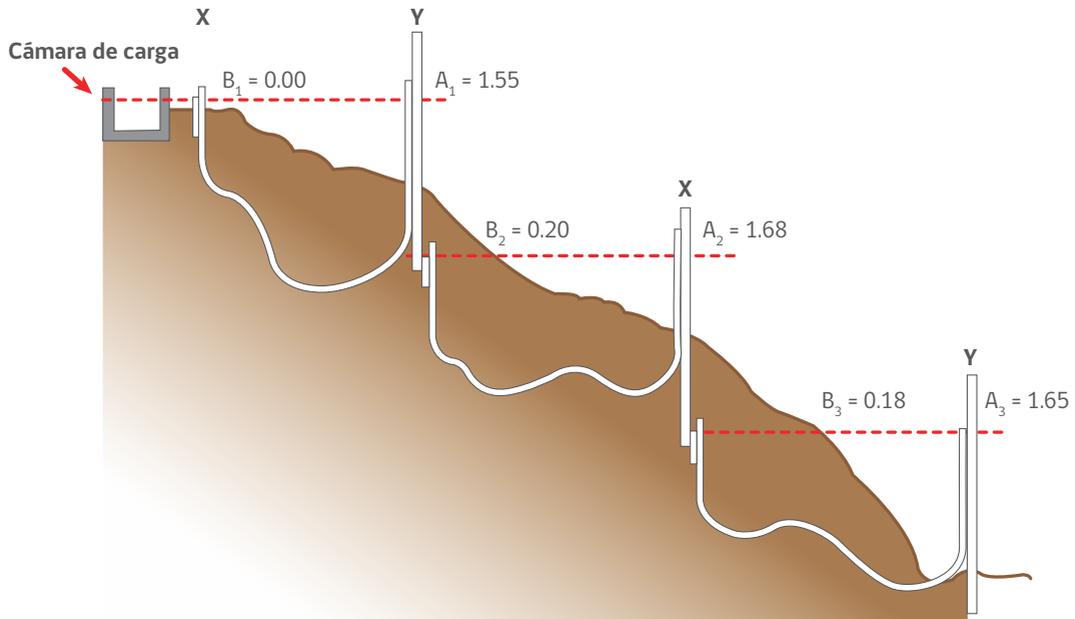


Fig. 6.9 – Determinación de la altura con manguera de nivelación.

Fuente: Basado en Ibídem Pág.36.

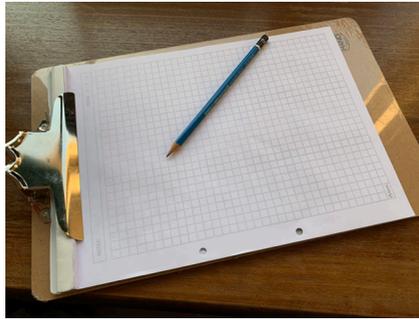


Fig. 6.10 - Modelo de tabla de registro de datos.
Fuente: Elaboración propia.

- **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.6.12). 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.

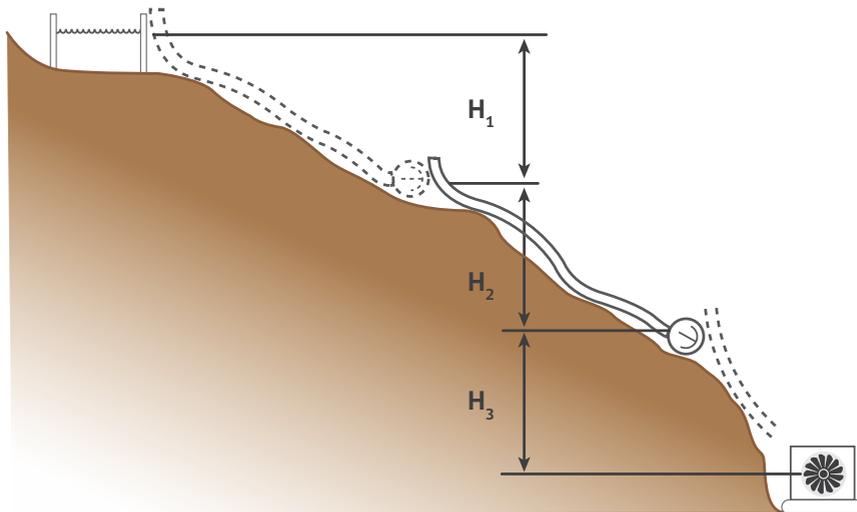


Fig. 6.11 - Modelo de tabla de registro de datos.
Fuente: Basado en Ibídem Pág.37.

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.6.12)
- 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)

● 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 6.12 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.6.9)

NOTA: Es importante calibrar el nivel de carpintero a fin de obtener resultados óptimos.

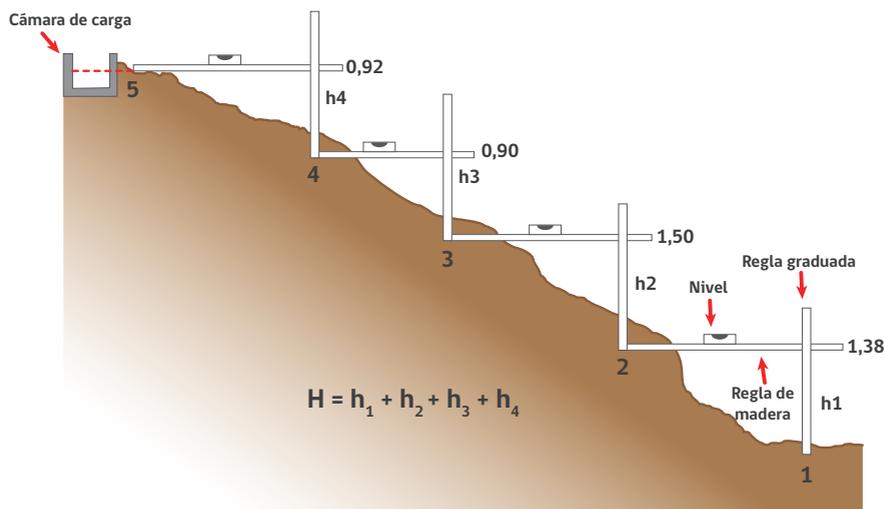


Fig. 6.12 - Determinación de altura con nivel de carpintero.

Fuente: Basado en 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 6.5), luego graficar estos resultados como se muestran en la Fig.6.13, 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. 6.5 - Lecturas en cámara de carga y casa de máquinas.

Fuente: Ibídem Pág.40.

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



Fig. 6.13 - 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. 6.14 - Nivel Abney (Eclímetro) con goniómetro.

a) Equipo necesario

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

a) Procedimiento

- Eclímetro
- 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 6.15. 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:

$$H_i = L_i * \text{sen}(\alpha_i)$$

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

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

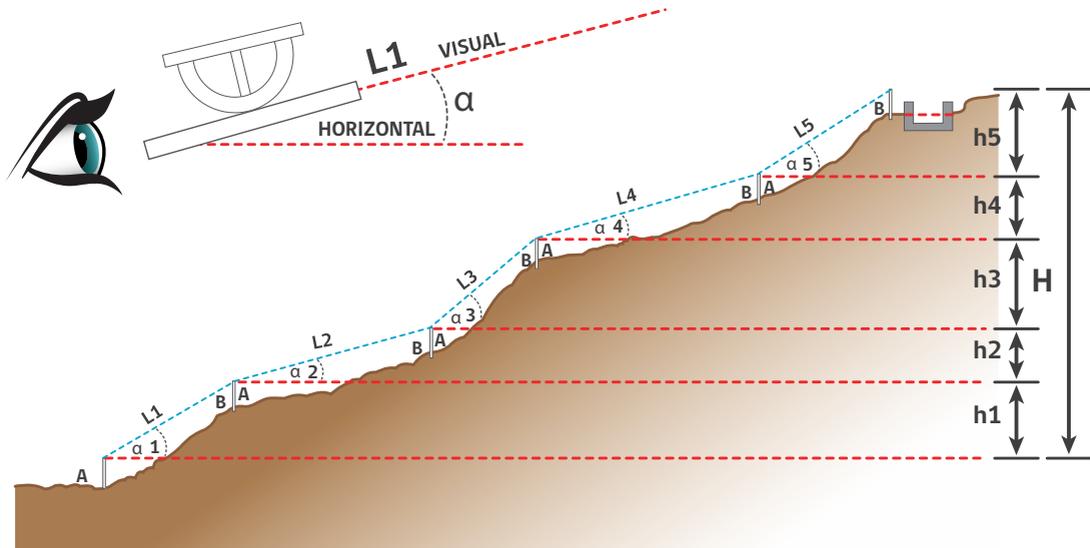
Nota 1: también se puede aplicar este método colocando el eclímetro sobre unas estacas, dirigiendo la línea de mira a la parte final de la estaca siguiente y registrando los datos que se obtengan.

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. 6.6 - Planilla de registro de datos (I).

Fuente: Basado en Ibídem Pág.42.

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

**Fig. 6.15 - Determinación de la altura usando eclímetro y huincha.**

Fuente: Basado en 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

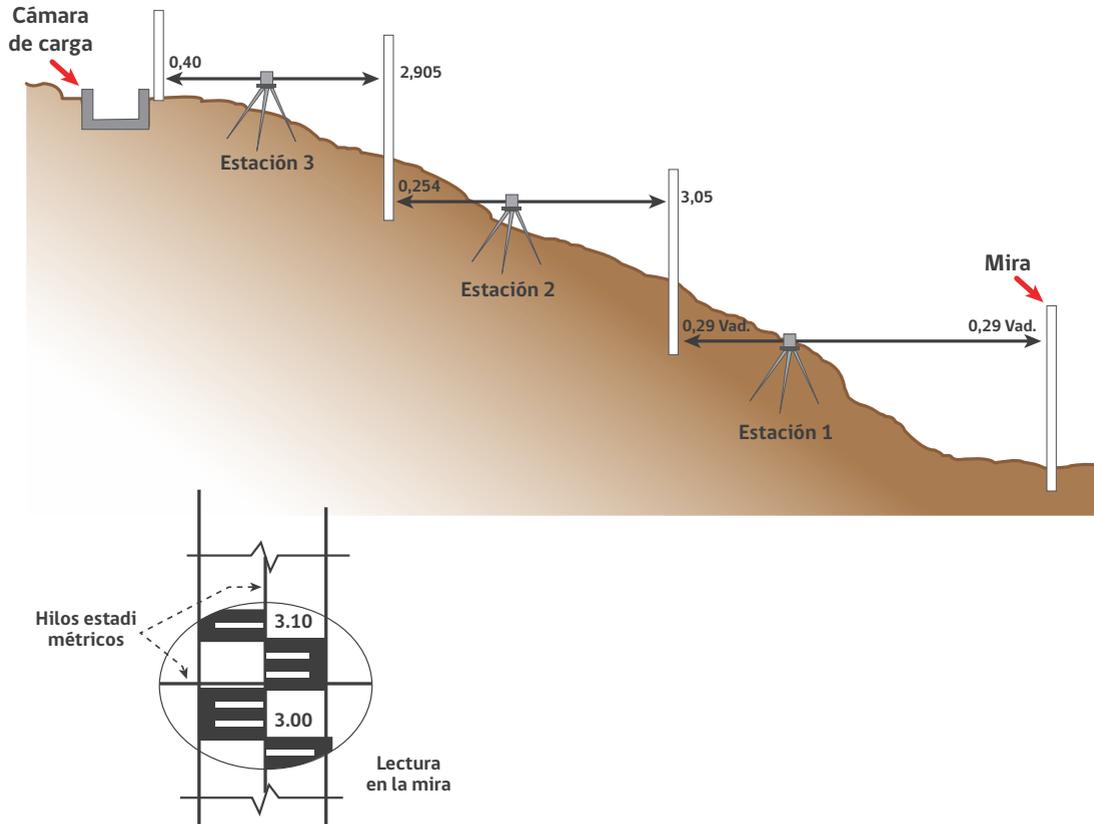
- Definir las personas que efectuarán el trabajo, el operador del nivel y el portamira.
- El operador colocará el nivel en un lugar, de tal forma que pueda visualizar al portamira en el primer punto (cámara de carga o casa de máquinas, según sea el caso), así como a un segundo punto, siguiendo la dirección 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 6.7.
- 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. 6.7 – Planilla de registro de datos (II).

Fuente: Basado en Ibídem Pág.43.

Estación	Vad	Vat	Hi = Vad - Vat	Observaciones
1				
2				
3				
4				
H_{Total}				

**Fig. 6.16 – Cálculo de la altura usando el método del nivel de ingeniero.**

Fuente: Basado en Ibídem Pág.44.

6.2.6 Estimación de la altura neta

El texto es transcrito desde el libro de Dávila, C.; et al. "Manual para la evaluación de la demanda, 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 6.18. 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:

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

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 rejas automático vale 0,80. Tomando v₀ = 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 v₀ = 0,85 [m/s]. La pérdida de carga en la reja se calcula por la ecuación de Kirschner:

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

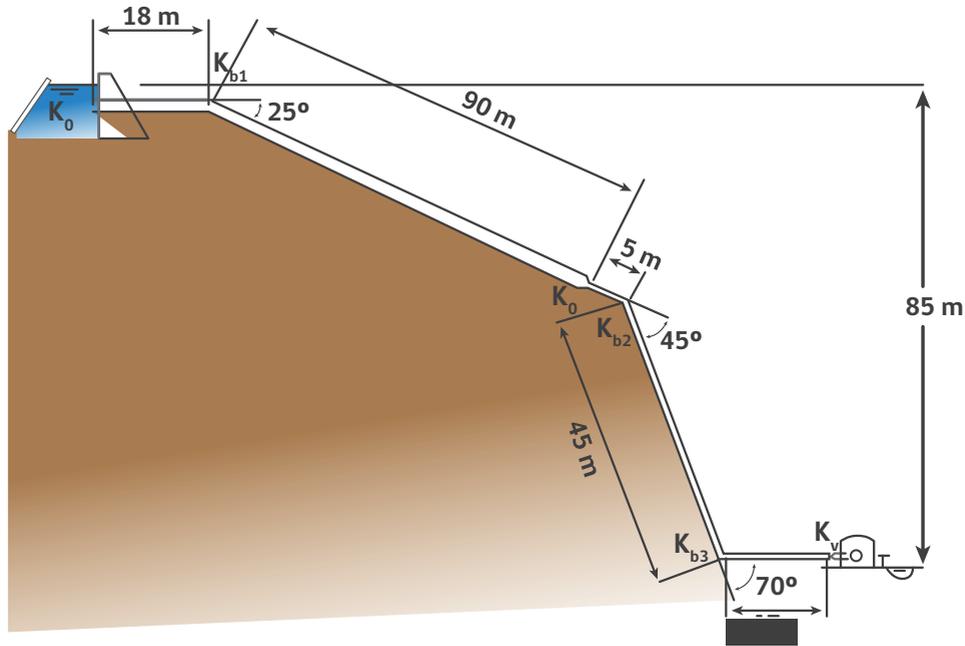


Fig. 6.17 - Esquema de instalación para determinar pérdidas de carga.

Fuente: Basado en 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 $h_c = 0,02 * V^2/2g$ (para una relación de diámetros de 0,8 y una siendo V la velocidad de corriente en el tubo de menor diámetro)

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

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 $0,00153 * 108 + 0,0054 * 65 = 0,49$ [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.

6.2.7 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 ($\text{ohm}^{-1} = 1$ 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 **conductímetro**.

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.

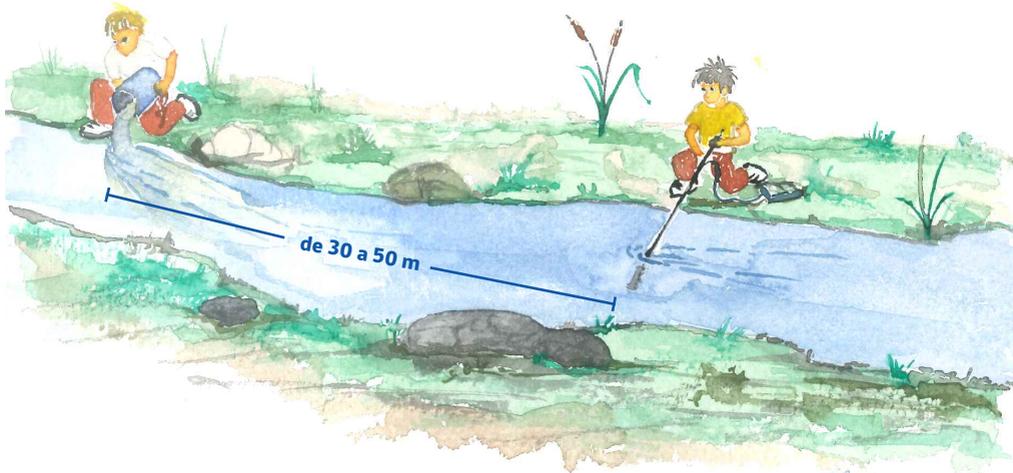


Fig. 6.18 – Esquema de instalación para determinar pérdidas de carga.

Fuente: Elaboración propia.

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:

$$Q = k * (M/A)$$

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.6.19a)

Tal como se aprecia en la Fig. 6.19b, 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 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 6.19a).
- Determinar el factor de corrección por temperatura k en $\mu\text{S}/\text{mg}/\text{litro}$, haciendo uso de la figura 6.20b.
- 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.6.20e)
- Tener cuidado con las unidades en el momento de hacer los cálculos.

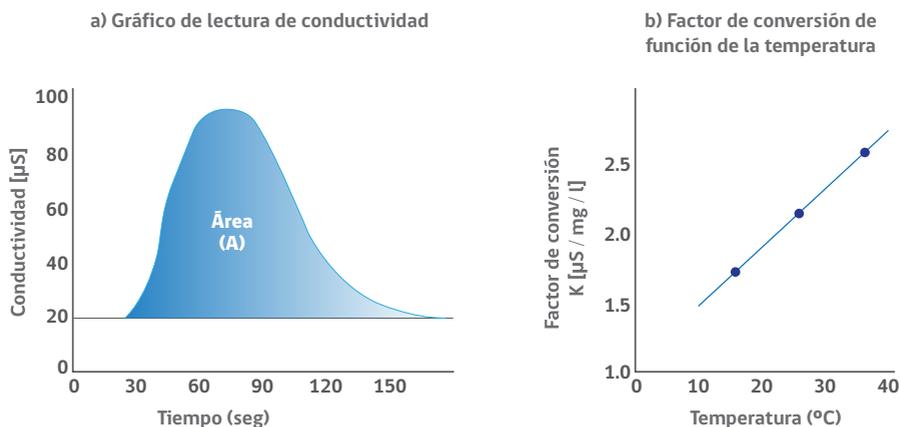


Fig. 6.19 – Área bajo la curva (A) y factor de conversión (k).

Fuente: Basado en Ibídem Pág.48.

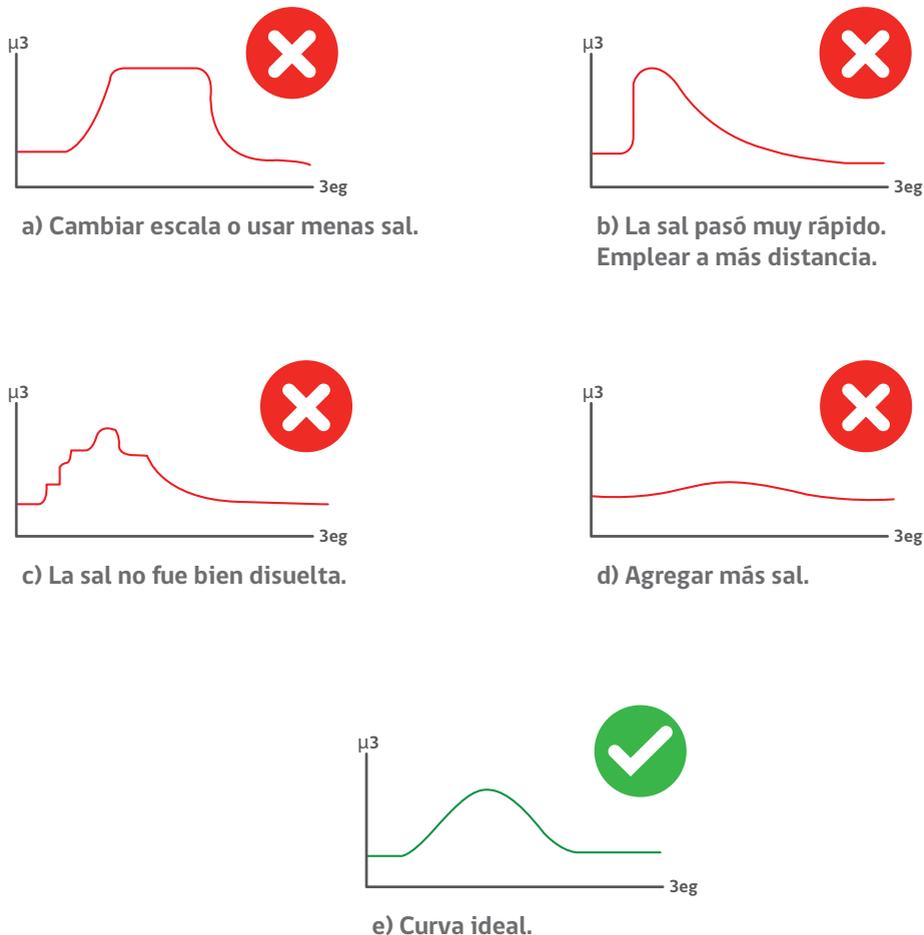


Fig. 6.20 - Tipos de gráficos obtenidos.

Fuente: Basado en 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.

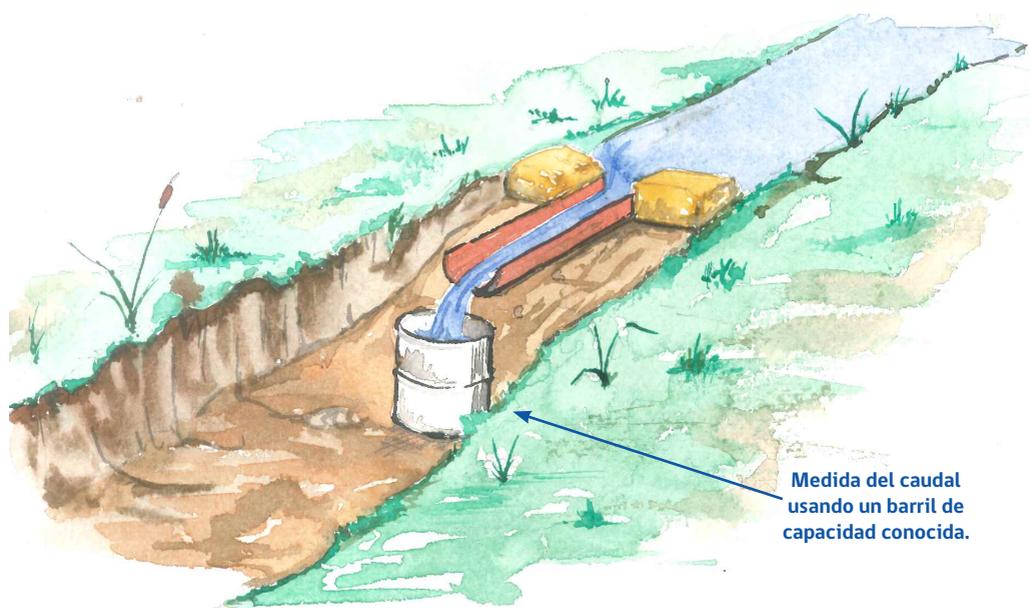


Fig. 6.21 - Medición del caudal usando el método del recipiente.

Fuente: Elaboración propia.

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

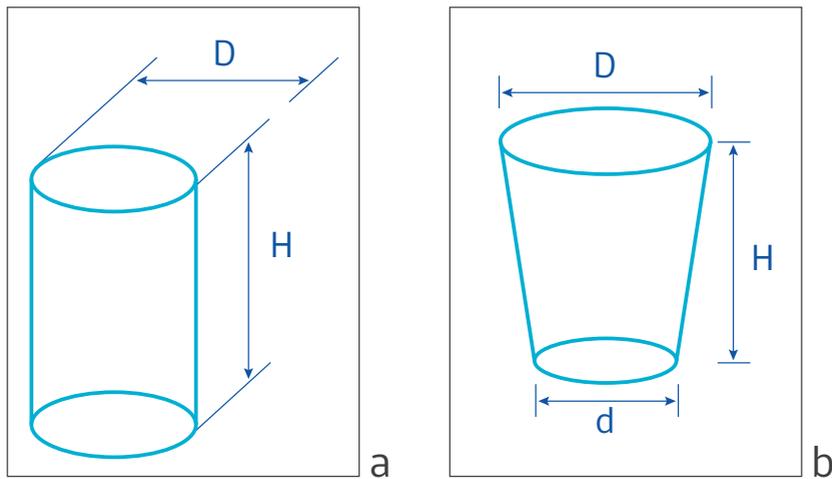


Fig. 6.22 - Formas comunes de recipientes: Cilíndrico (a) y Tronco-cónico (b).

Fuente: Basado en Ibídem Págs.51-52.

Volumen de los recipientes:

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

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

- **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:

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

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.6.23). 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 6.8)

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 6.9, 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.

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 l

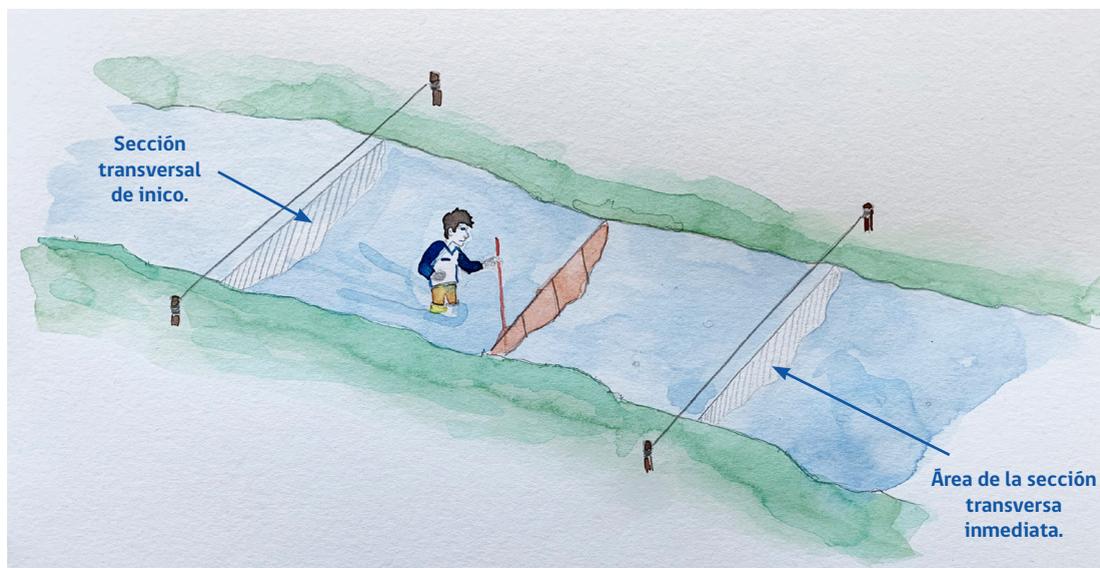


Fig. 6.23 – Sección transversal de la corriente de agua.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 6.8 – Valores de k según la profundidad y el material del cauce.

Fuente: Ibídem Pág.54.

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	Mayor de 0.15 m	0.50 a 0.25

Tabla 6.9 - Valores de k según la relación S/p y el material del cauce.

Fuente: Ibídem Pág.54.

S/p	Madera lisa o cemento	Madera aspera 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

Donde:

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

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 6.9.

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. 6.24). 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. 6.24 – Sección transversal de la corriente de agua.

Fuente: Ibídem Págs.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. 6.25). 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

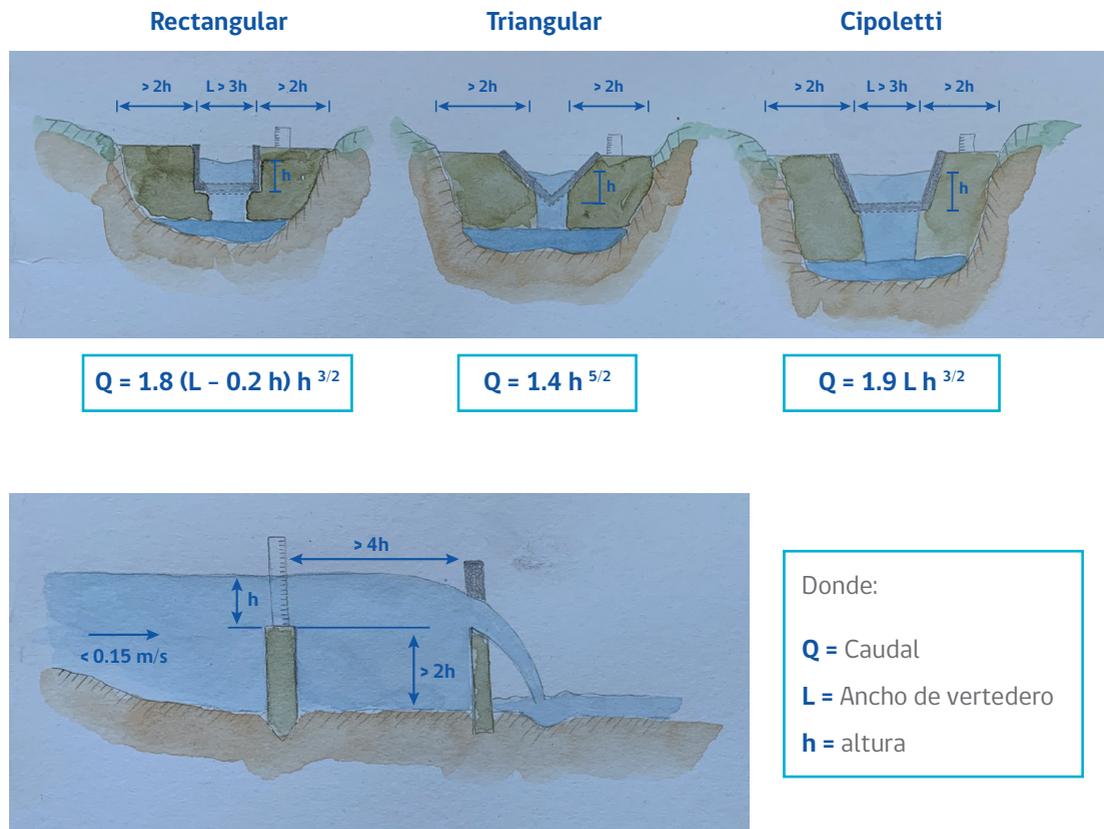


Fig. 6.25 - Tipos de vertederos y fórmulas para cálculo del caudal y recomendaciones para su construcción.

Fuente: Elaboración propia.

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 6.10 con datos de caudal obtenidos para un vertedero rectangular.

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

Tabla 6.10 - Valores de k según la profundidad y el material del cauce.

Fuente: Ibídem Pág.59.

6.3. 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.

6.3.1. 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.

7

COMPONENTES DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA



7. Componentes de una Microcentral Hidroeléctrica

7.1. 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.

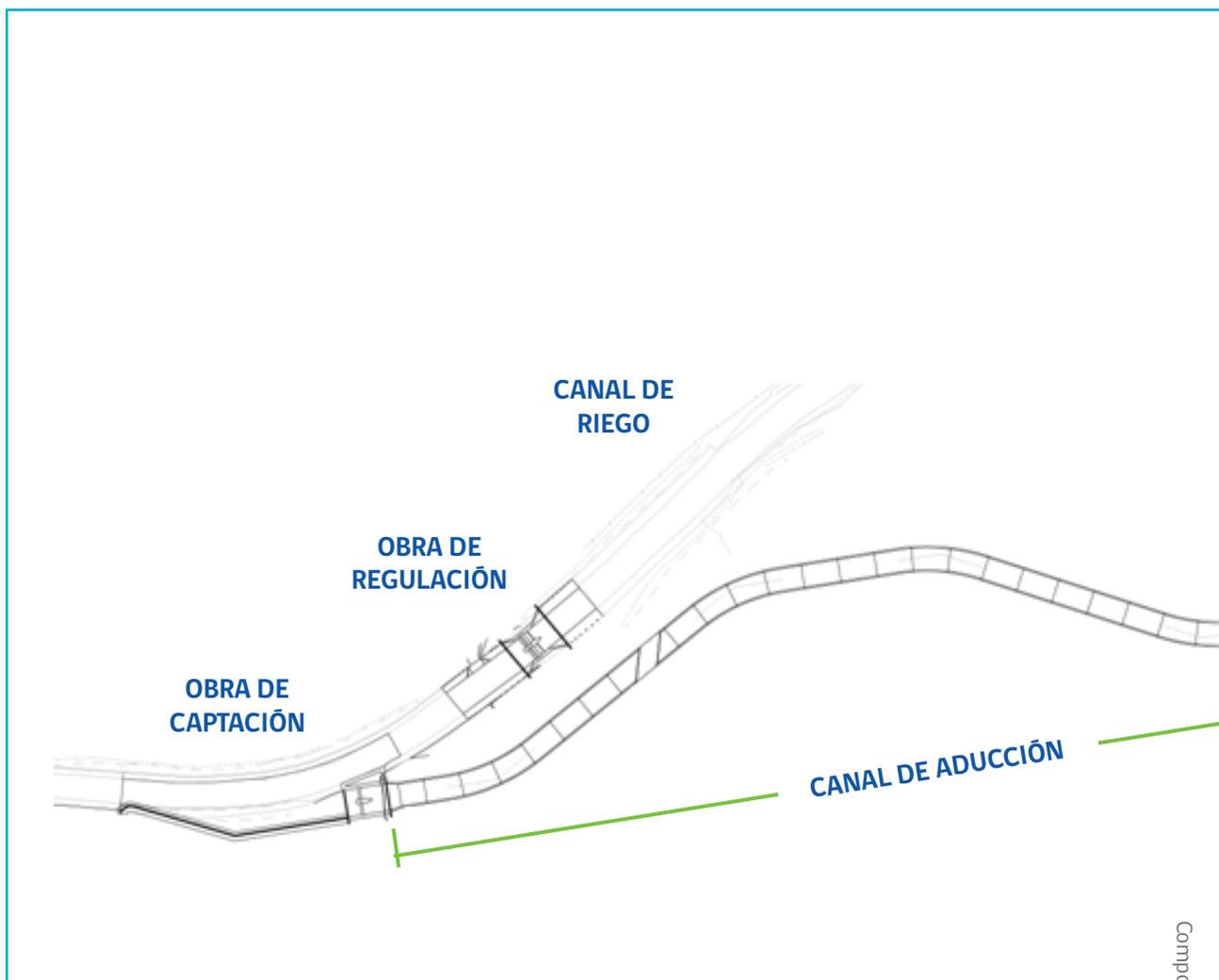
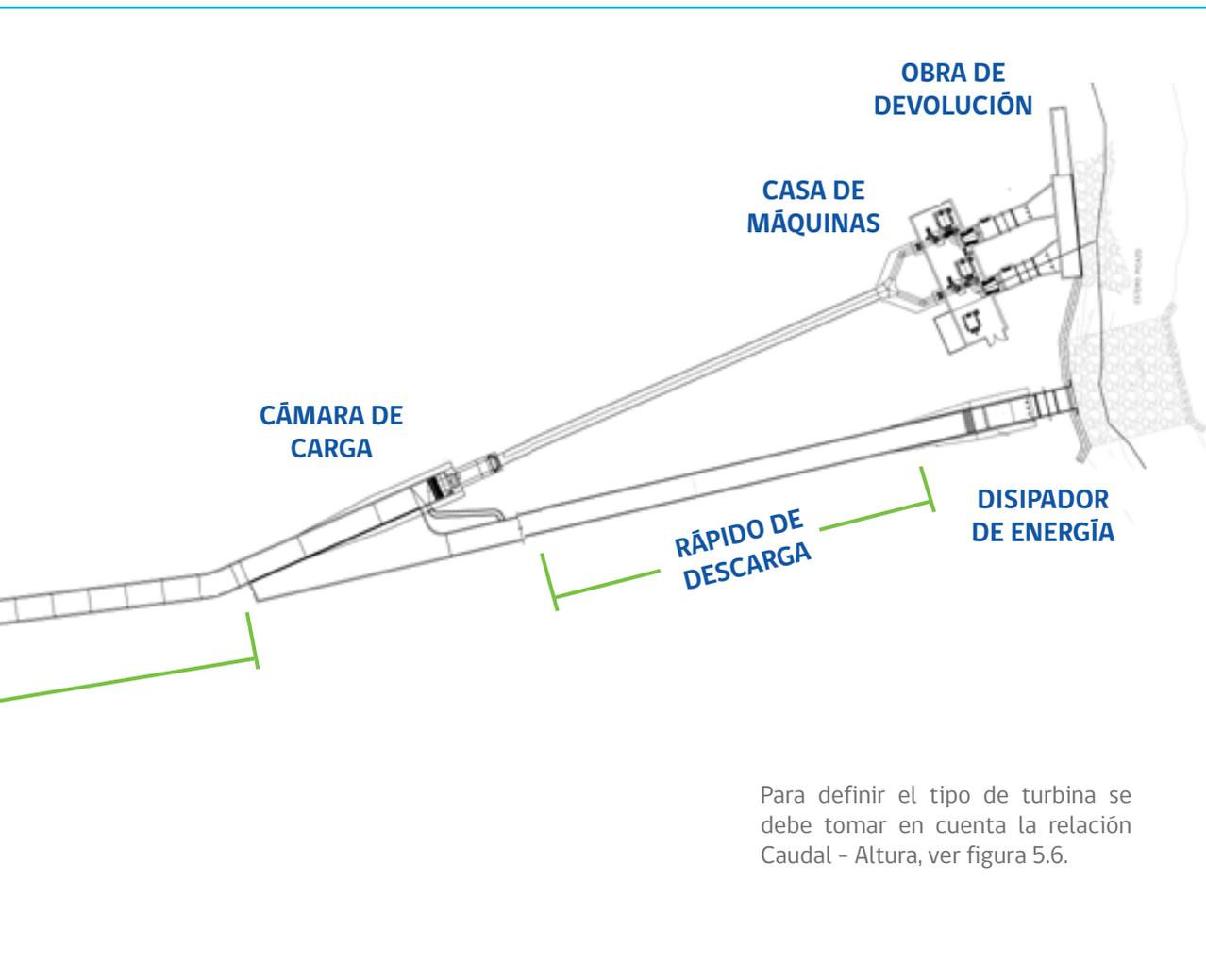


Figura 7.1 – Disposición de las obras civiles que componen una central hidroeléctrica de pasada.
Fuente: Elaboración propia.



7.1.1 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**

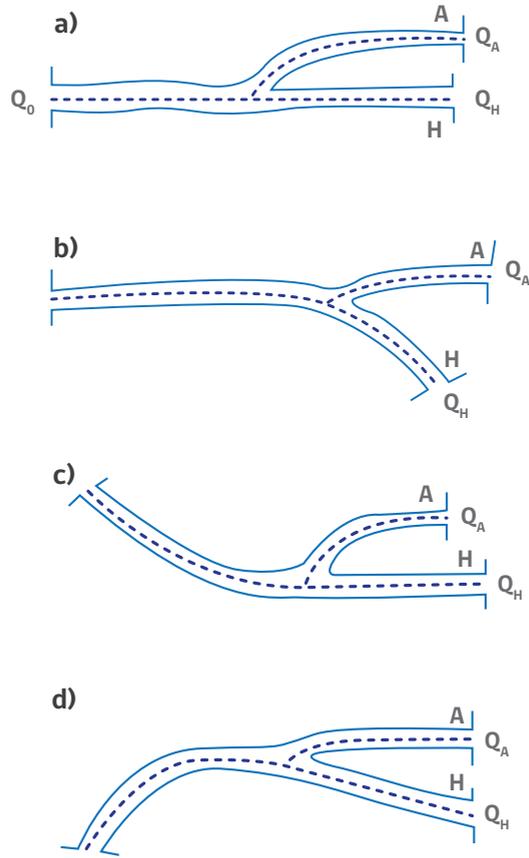
En los tramos curvos, en cambio, se produce un flujo en forma de espiral, que erosiona de arriba hacia abajo la margen externa de la curva y se mueve de abajo hacia arriba a la salida del codo depositando el material en suspensión en el margen interno de la curva (ver figura).



Figura 7.2 - Depósito en segmento curvo del canal.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.3 - Depósitos en un segmento curvo de un cauce.
Fuente: Elaboración propia.



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)	0	100
d)	100	0

Figura 7.4 - Depósito de sedimentos según formas de secciones.

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

NOTA: En la Figura 7.3 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.

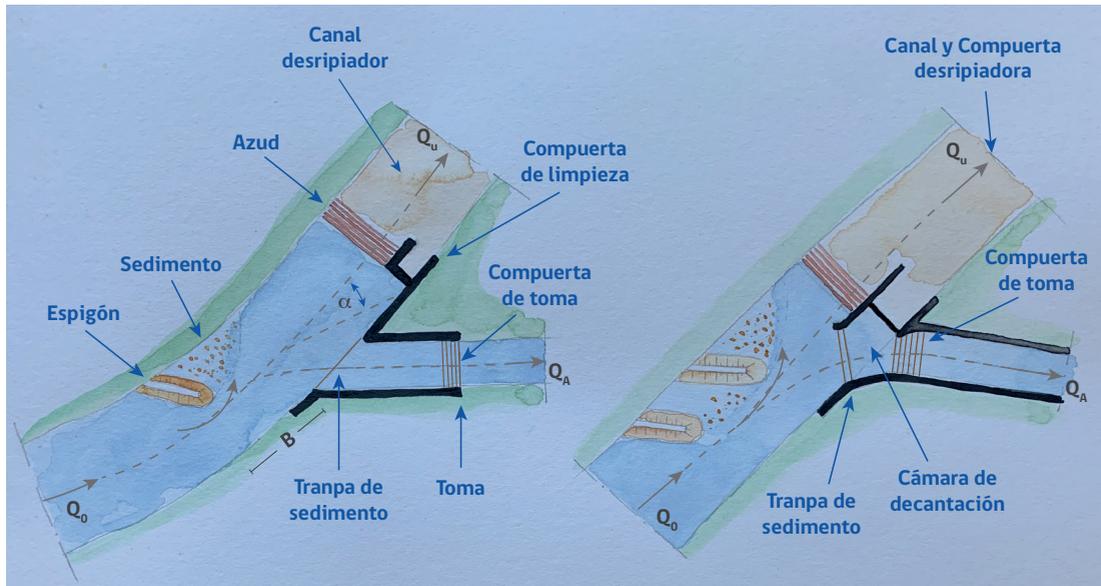


Figura 7.5 - Bocatoma lateral con barrera para embalsamiento y medidas de eliminación de carga de sólidos.

Fuente: Elaboración propia.

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 unvertedero adecuado para que la barrera pueda soportar la crecida.

7.1.2 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 [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 [cm] bajo el umbral, de forma de obtener flujo estable.



Figura 7.6 – Componentes de una bocatoma en un canal de riego.
Fuente: Elaboración propia.

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)

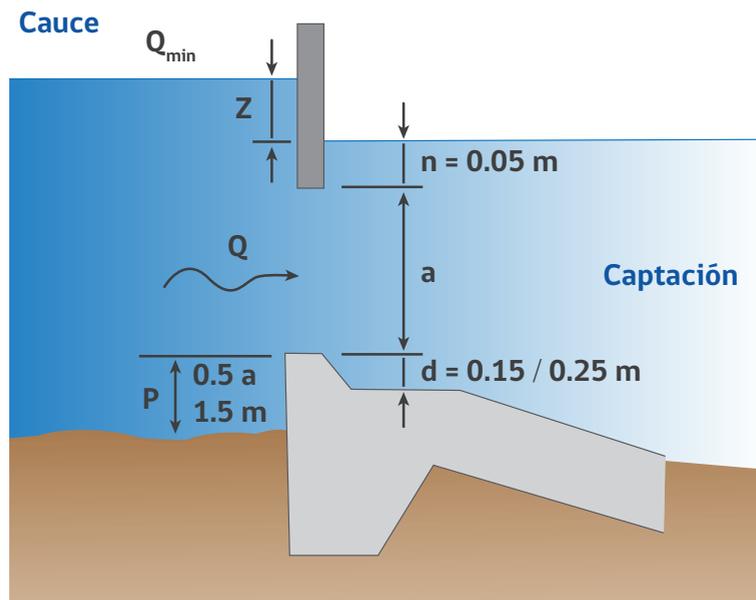


Figura 7.7 - Esquema de bocatoma de orificio sumergido.

Fuente: Basado en GTZ “Diversion Structure and Intake” ASEAN . German Minihydro Project s/f.



Figura 7.8 - Bocatomas con barrera tipo azud (derecha) y captación lateral (izquierda).

Fuente: Ministerio de Energía

- **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.

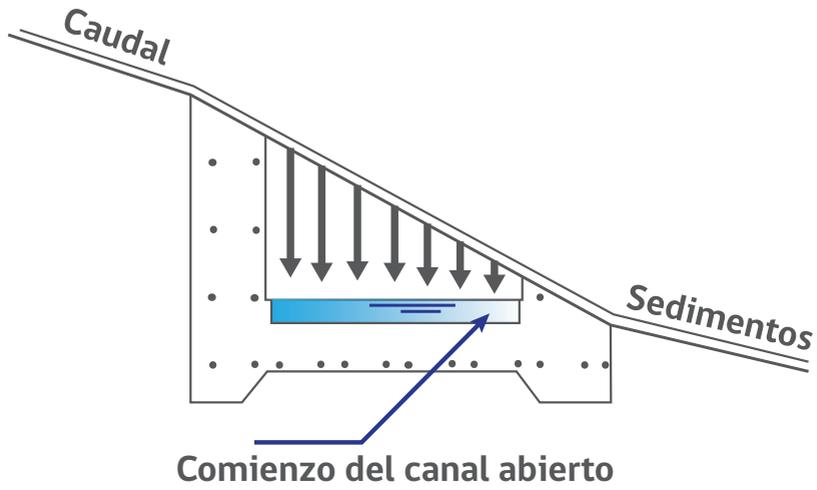


Figura 7.9 - Captación tipo tirolesa con rejillas soportadas.
Fuente: Elaboración propia.

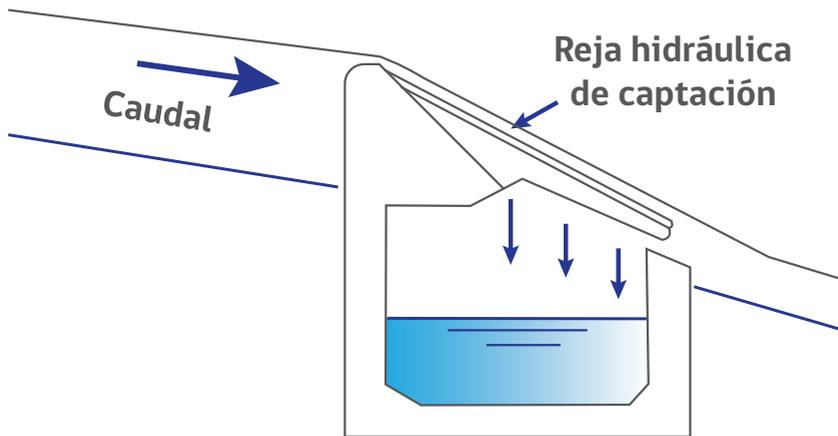


Figura 7.10 - Captación tipo tirolesa con rejillas en voladizo.
Fuente: Elaboración propia.

• 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.

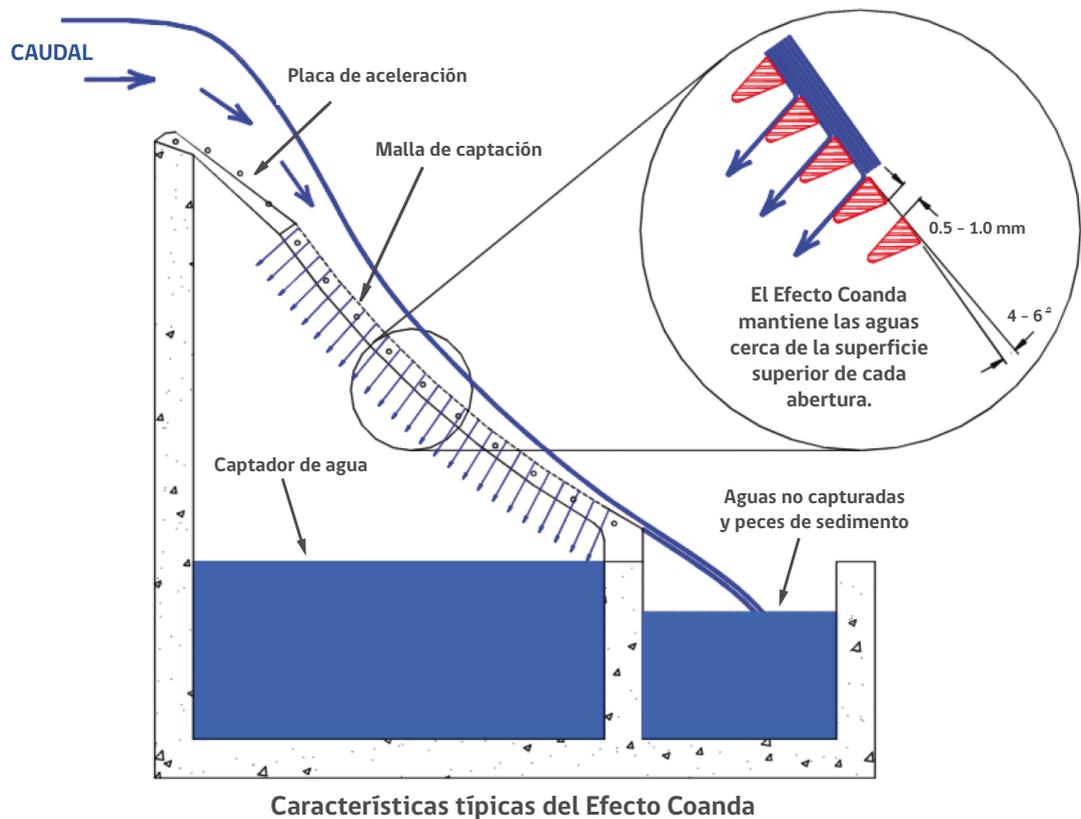


Figura 7.11 – Características de la reja tipo Coanda con la forma de la obra de captación.

Fuente: 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.



Figura 7.12 - Instalación de captación de agua para microcentrales hidroeléctricas.
Fuente: <http://www.aquashear.com/>

- **Bocatoma Lateral**

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.

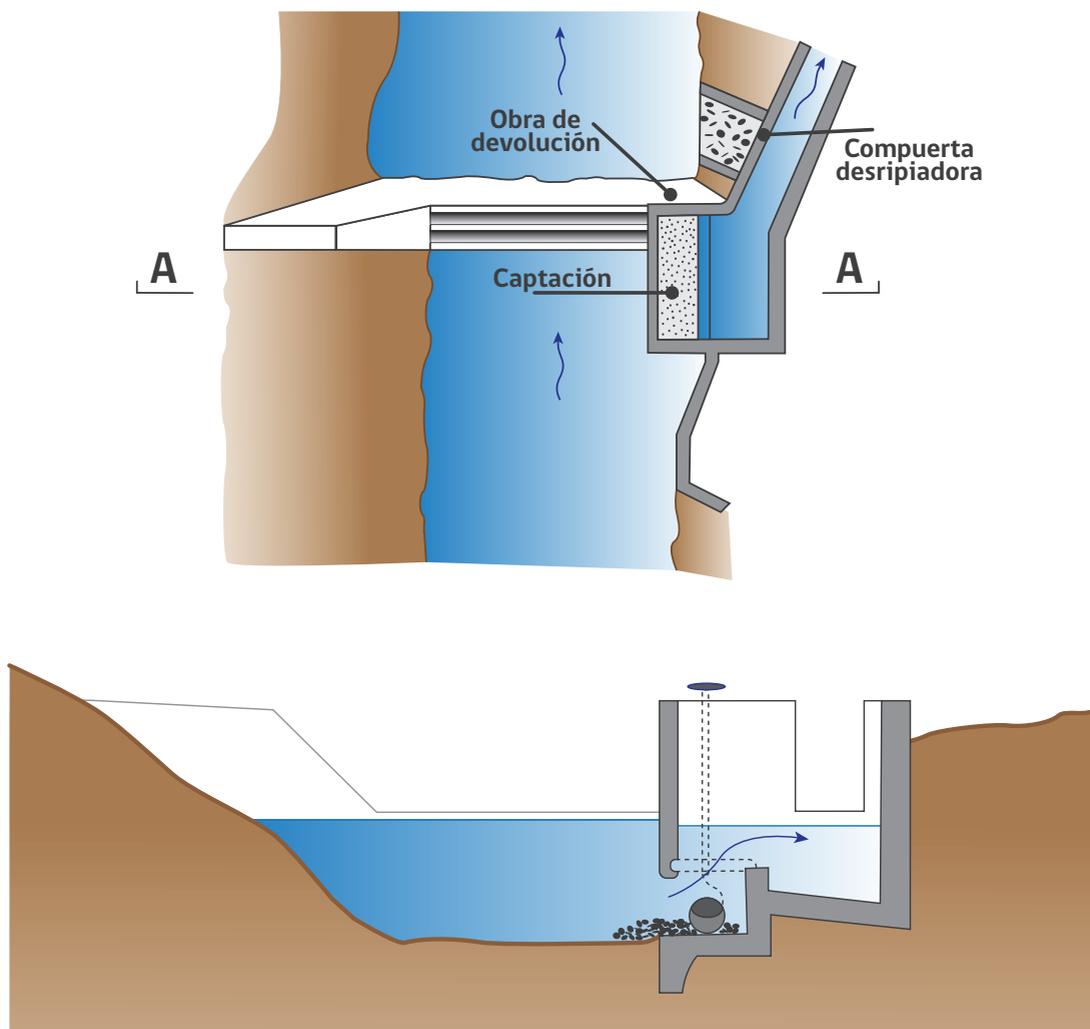


Figura 7.13 – Esquema de instalación de bocatoma de superficie con placa perforada.

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.

7.1.3 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.

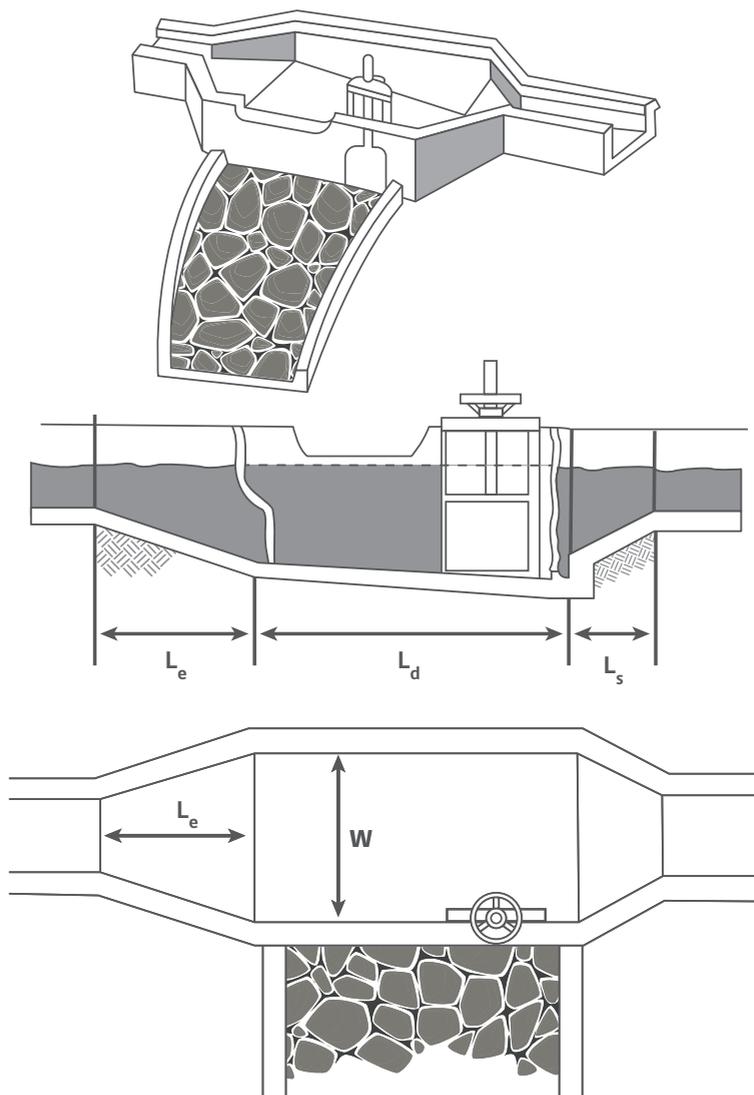


Figura 7.14 - Esquema de un desarenador al inicio del canal.

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).

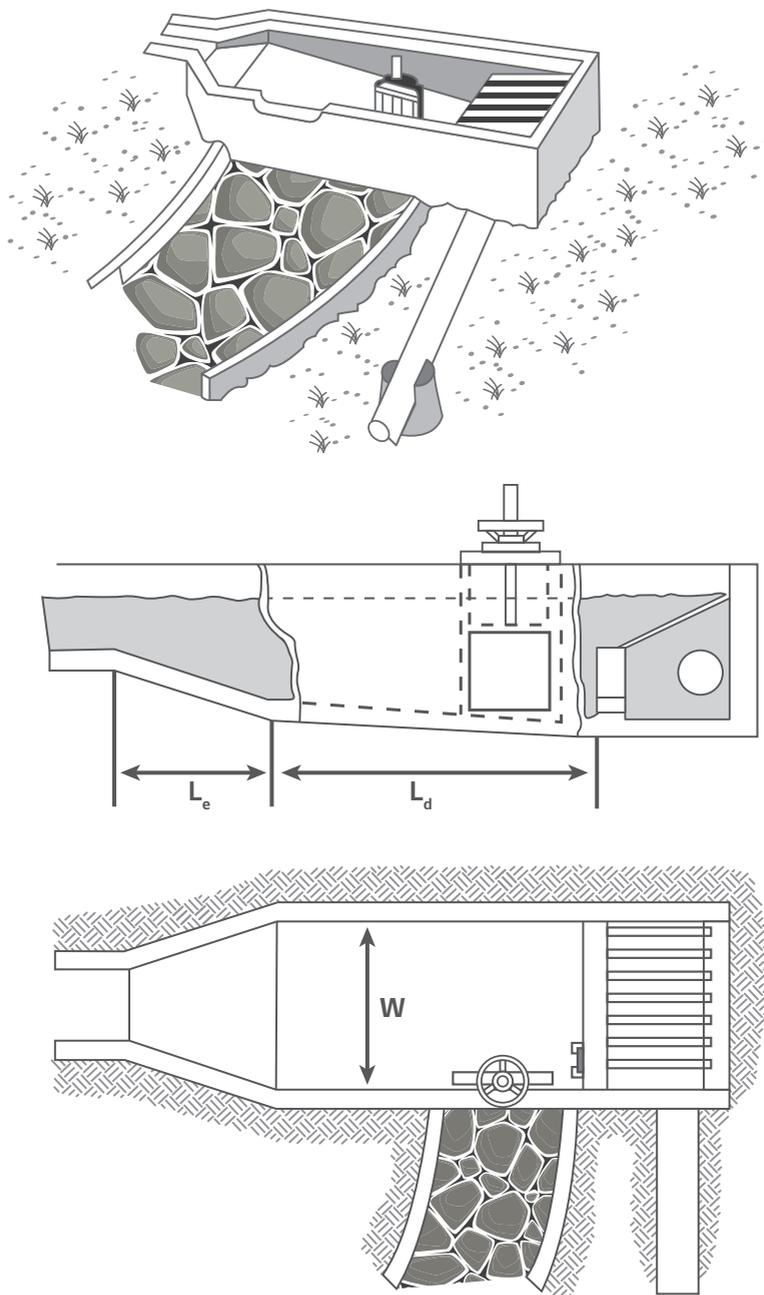


Figura 7.15 – Esquema de un desarenador a la entrada de la cámara de carga.

Fuente: Basado en 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).

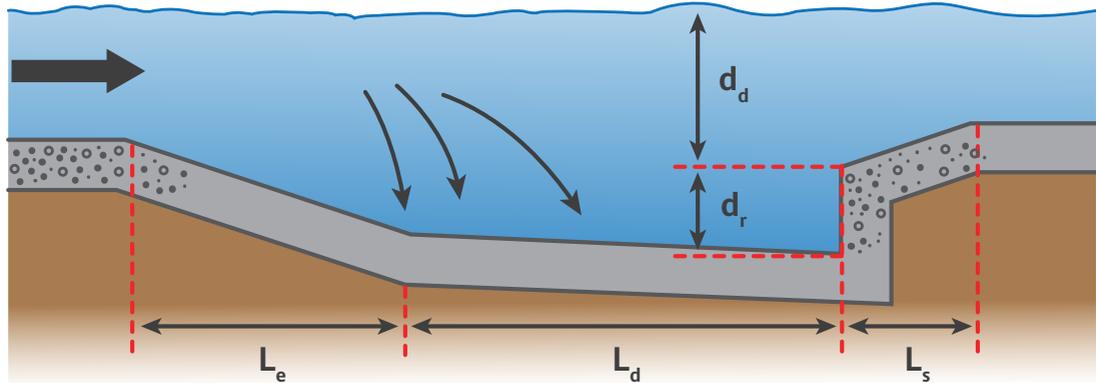


Figura 7.16 – Dimensiones características por zonas del sedimentador.

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].

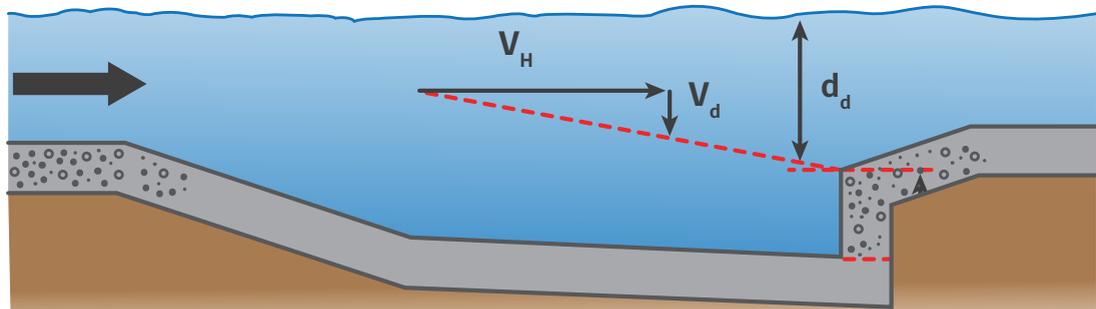


Figura 7.17 – Trayectoria de partículas en el proceso de sedimentación.

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 7.18 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 7.18 muestra las secciones de entrada y salida necesarias.

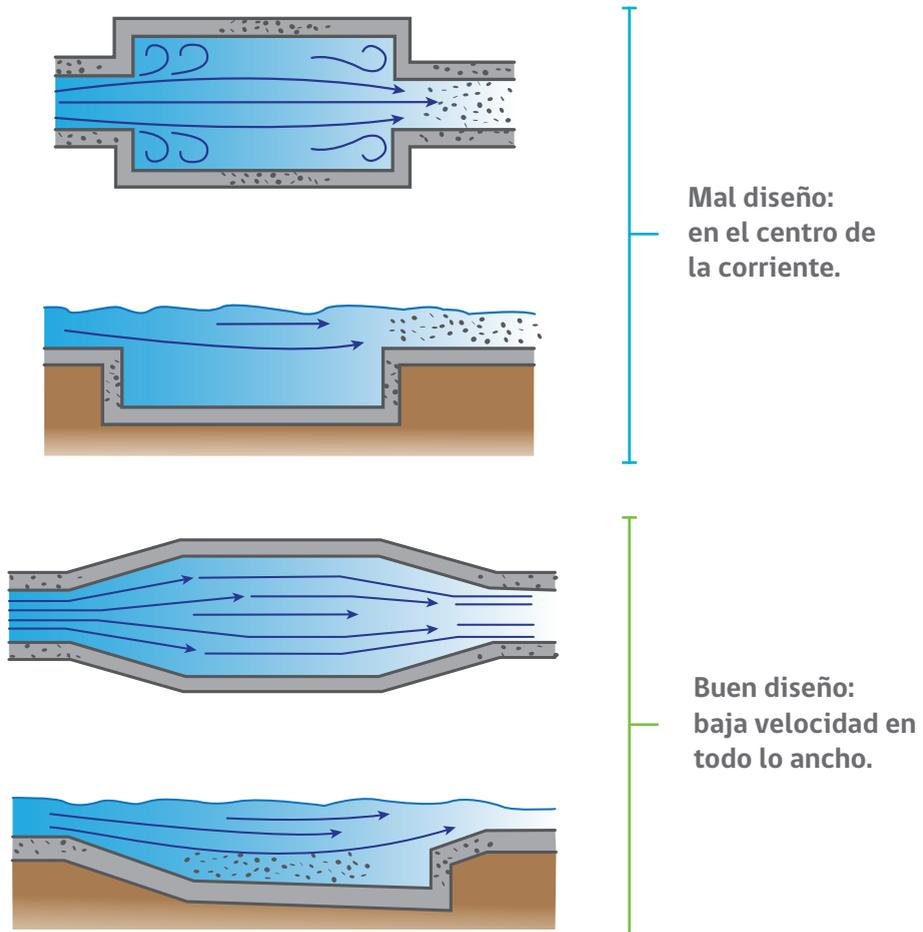


Figura 7.18 - Observaciones en el diseño de desarenadores.

Fuente: Basado en 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 7.19 muestra un diseño incorrecto de un desarenador con deflectores. Hay que tomar las precauciones del caso para evitar que surjan nuevos problemas.

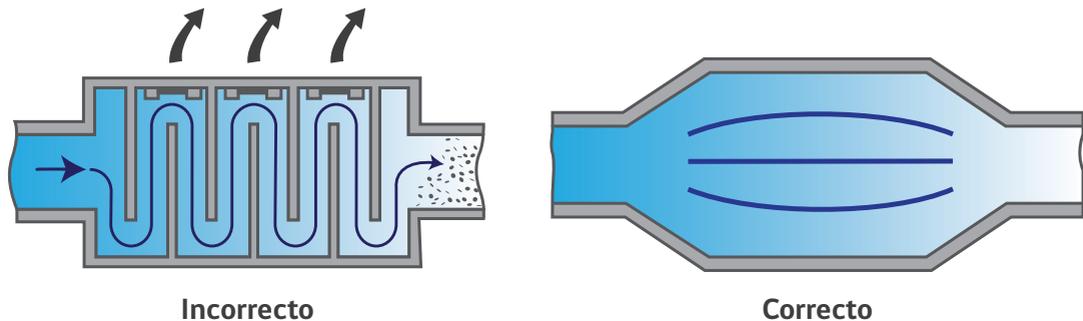


Figura 7.19 – Desarenadores con deflectores y muros directrices.

Fuente: Basado en 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.

7.1.4 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.

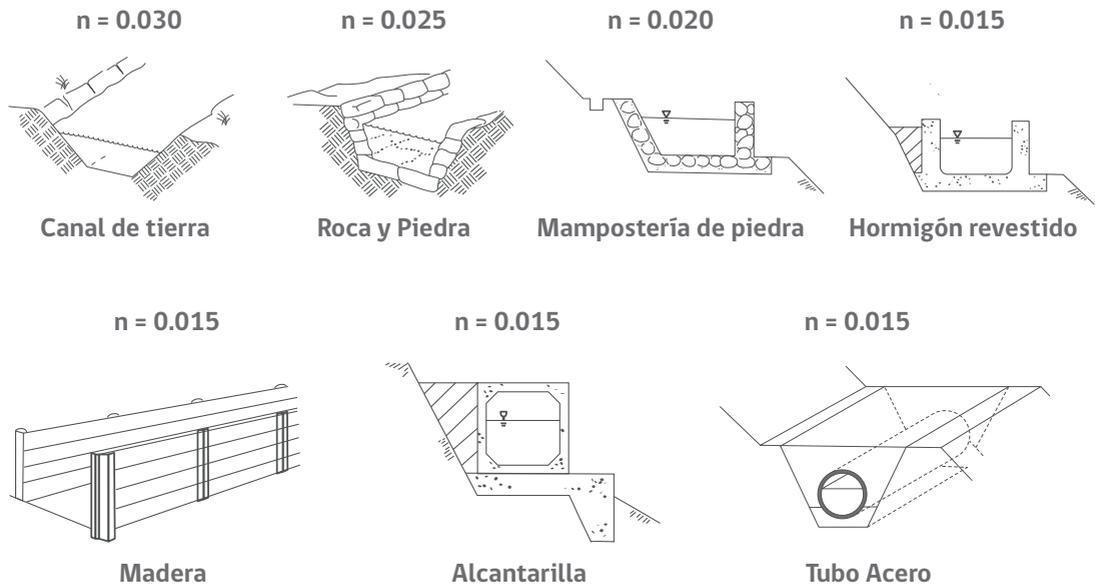


Figura 7.20 – Conducciones abiertas y coeficiente de rugosidad de Manning.

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 7.1 describe algunos valores del ángulo del talud recomendado para diferentes materiales.

Tabla 7.1 – Talud recomendado para canales de sección trapezoidal.

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).

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

• 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 7.2 proporciona las velocidades recomendadas para canales de diferentes materiales.

Tabla 7.2 – Velocidad máxima recomendada para diferentes tipos de material.

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).

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

• 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 7.3 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.



Figura 7.21 - Altura bruta (H_b) de un proyecto hidroeléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.3 – Coeficientes de rugosidad para el diseño de canales.

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).

Canales de tierra	n
Arena con algo de arcilla o roca partida	0.0200
Fondo de arena y grava, con lados empedrados	0.0213
Arcilla	0.0130
Material sólido, suave	0.0167
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 de terrones	0.0333
Revestimiento con piedras	0.0370
Arena, greda. Grava y hierbas	0.0455

Canales de roca	n
Roca medianamente irregular	0.0370
Roca irregular	0.0455
Roca muy irregular con muchos salientes	0.0588
Manpostería de piedra con cemento	0.0200
Paredes de mampostería con base de arena y grava	0.0213

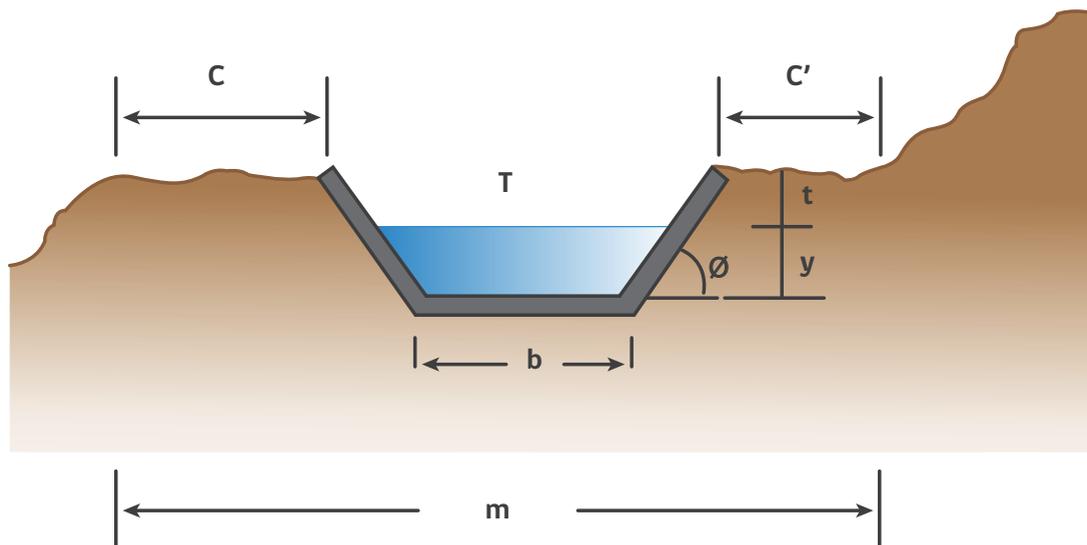
Canales de concreto	n
Buen acabado con cemento	0.0100
Acabado con yeso o concreto suave con alto contenido de cemento	0.0118
Concreto no enlucido	0.0149
Concreto con superficie suave	0.0161
Revestimiento con concreto irregular	0.0200
Superficies de concreto irregular	0.0200

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

• 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.



C = corona del canal o camino

C' = sobreebanco

T = espejo de agua

b = solera o fondo de canal

y = tirante o profundidad de agua

t = borde libre

H = altura total del canal

m = ancho de plataforma del canal

Ø = ángulo de la inclinación de las paredes con la horizontal

Figura 7.22 - Vista de una sección transversal de un canal y elementos.

Fuente: Basado en 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).
- Sobreebanco (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:

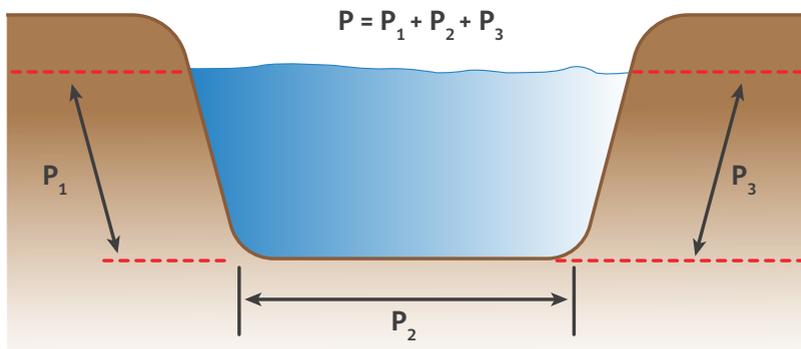


Figura 7.23 - Perímetro mojado, P.

- 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 7.4 y 7.5.

Tabla 7.4 - Velocidades mínimas para evitar 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).

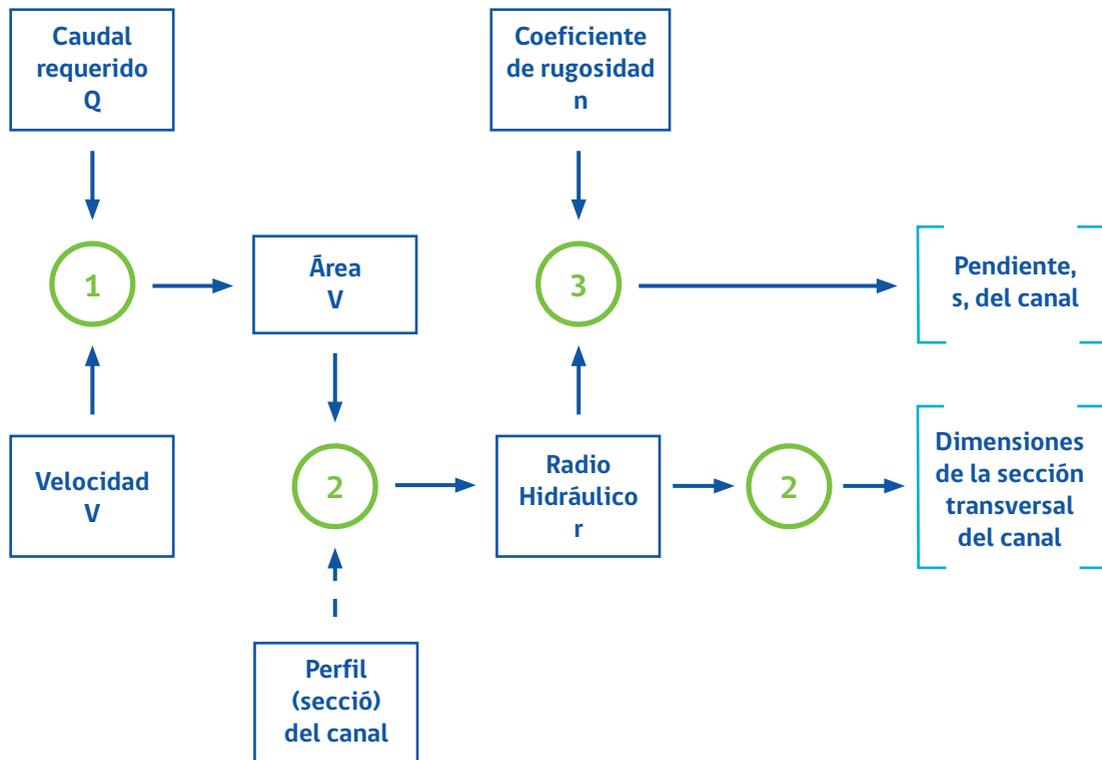
Calidad del agua	Velocidad mínima
Con sedimentos finos	0.3 m/s
Con arena	0.2 m/s

Tabla 7.5 - Características de las secciones transversales.

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).

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

Para el diseño se aconseja seguir el proceso indicado en el diagrama de bloques de la Fig. 7.25 y calcular las dimensiones de acuerdo con el diagrama presentado en la Fig. 7.24, desarrollado para la Fórmula de Manning.

**Figura 7.24 - 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.

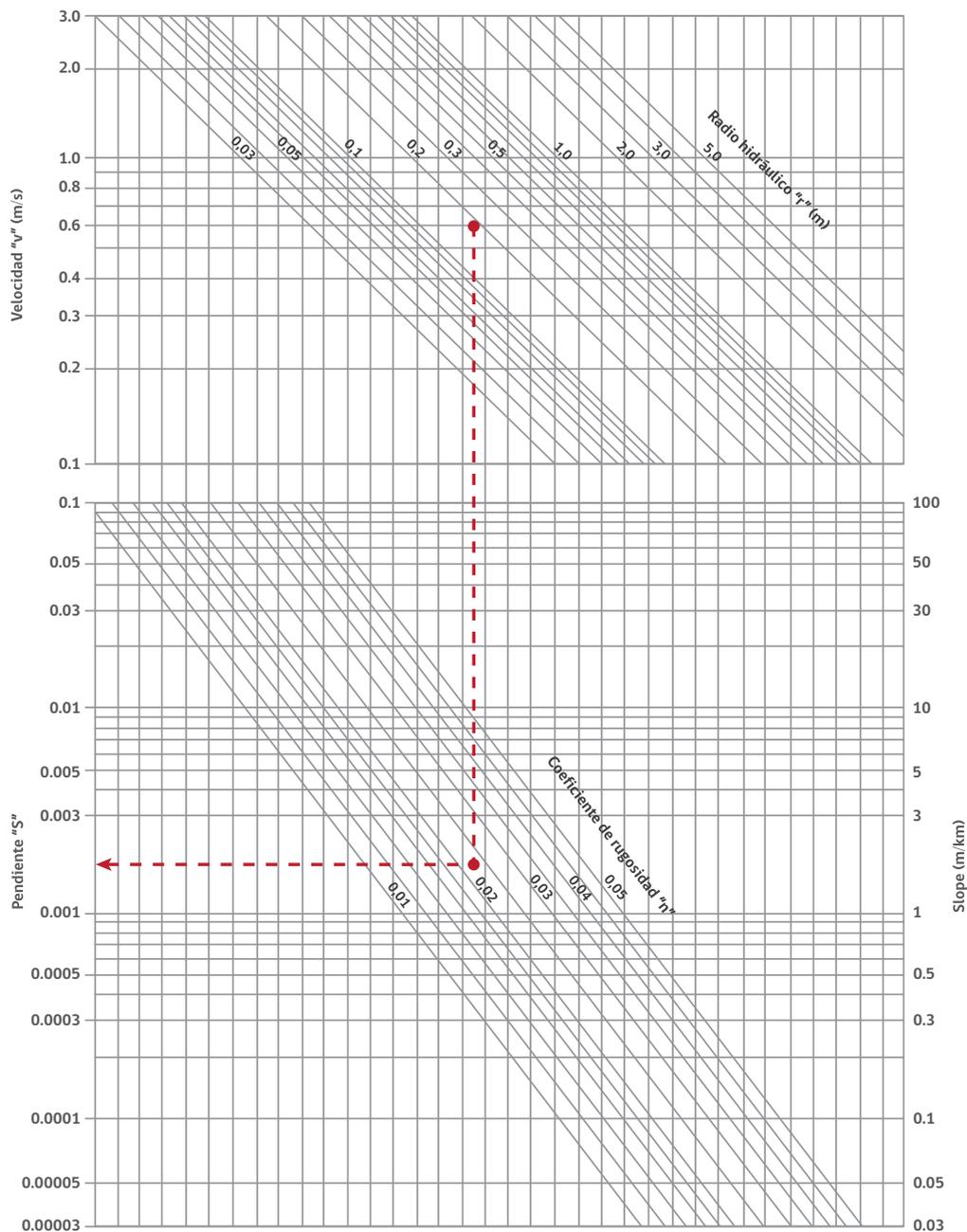


Figura 7.25 - Solución gráfica de la ecuación de Manning para diseño de canales.

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

7.1.5 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:

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

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

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

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:

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

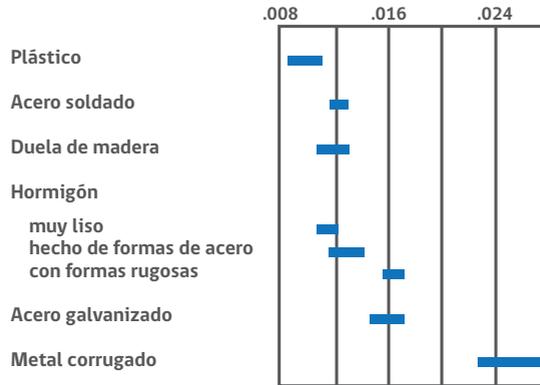


Figura 7.26 - Coeficientes de rugosidad para la fórmula de Manning.

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 pérdidas 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.



Figura 7.27 - Ejemplo de tubería de venteo al inicio de una tubería de salida de una cámara de carga.

Fuente: Ministerio de Energía.

El cálculo de pérdidas se puede hacer analítico pero también gráfico, de acuerdo con el diagrama de la Figura 7.27.

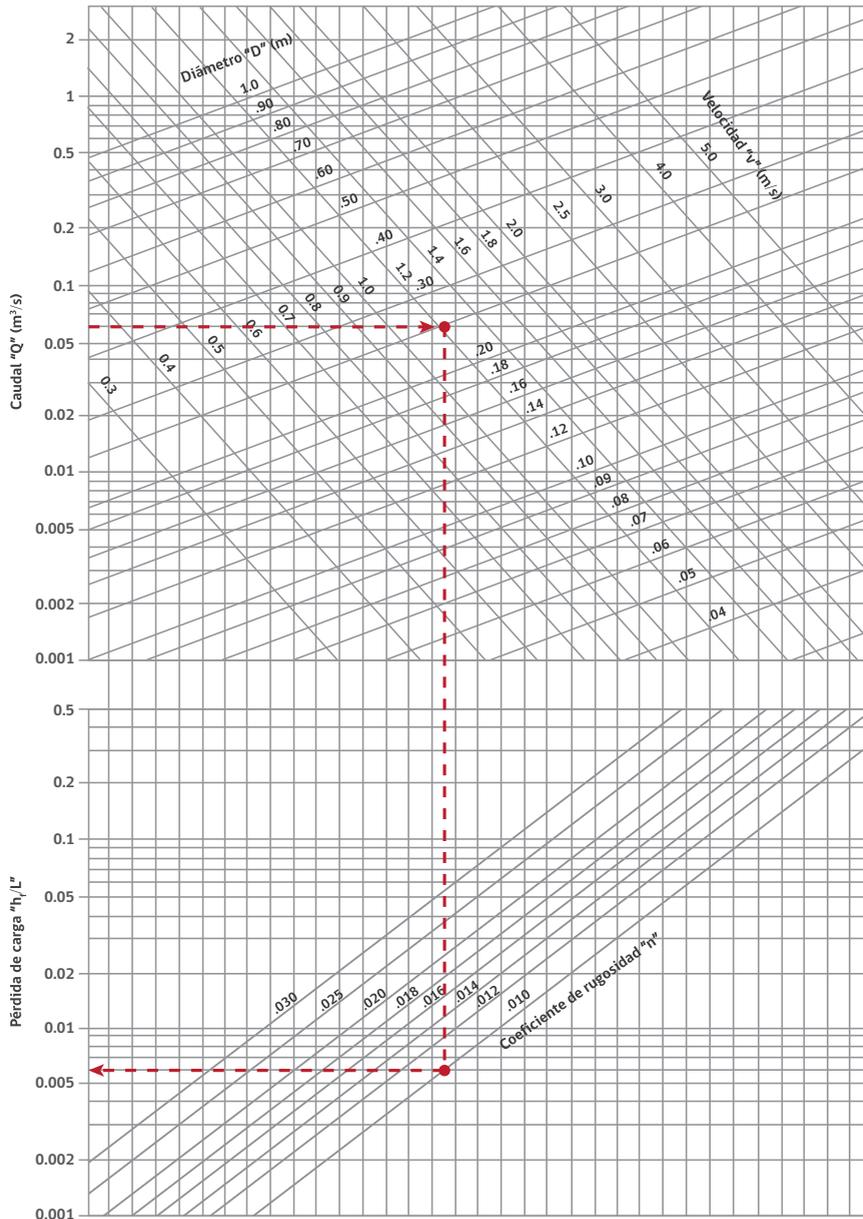


Figura 7.28 - Solución gráfica de la ecuación de Manning para tuberías.

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

7.1.6 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 le 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.

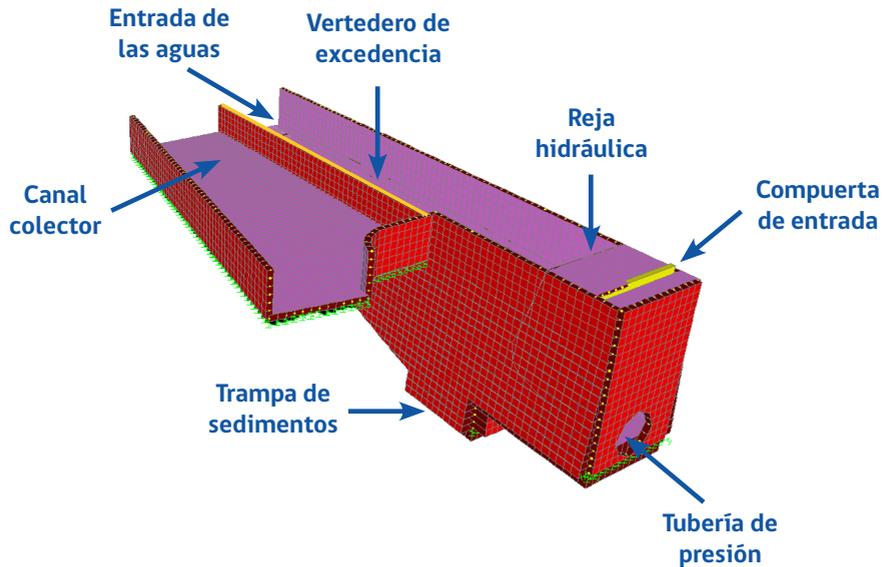


Figura 7.29 - Esquema de una cámara de carga.

Fuente: Elaboración propia.

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.
- iv) Eliminar si hay problemas de turbulencia como por ejemplo haciendo uso de rejas antivórtice, como se muestra en la figura siguiente.

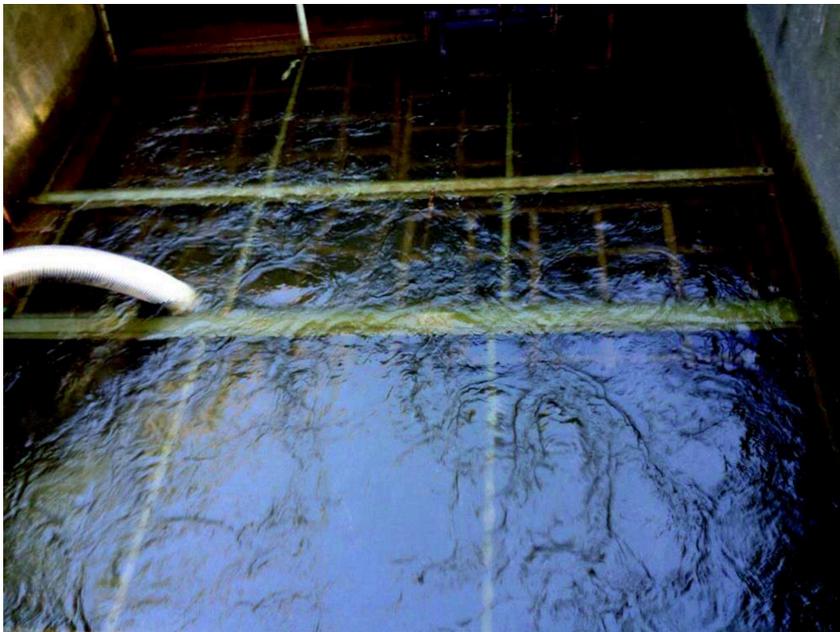


Figura 7.30 - Cámara de carga turbina axial con rejas antivórtice.

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 7.30, ya que así es más eficaz controlar el movimiento de arremolinamiento debajo de la balsa.

7.1.7 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.
- Construirla 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.

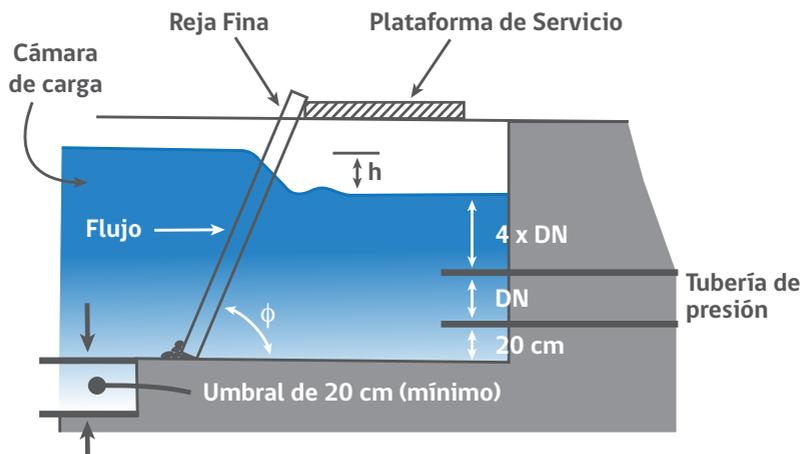


Figura 7.31 - Esquema de una reja de limpieza.

Fuente: Basado en 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 rejillas 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 rejilla

Φ : coeficiente dependiente de la forma de la barra

α : inclinación de la rejilla 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 rejilla 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 rejilla produce una contracción de la vena líquida, por lo que se reduce el caudal que la atraviesa, por lo tanto la sección "s" de rejilla necesaria será:

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

Donde:

μ : coeficiente de contracción dependiente de la forma de la barra (ver figura 7.32)

v : velocidad de aproximación (m/s)

s : sección necesaria (m²)

Q : caudal necesario (m³/s)

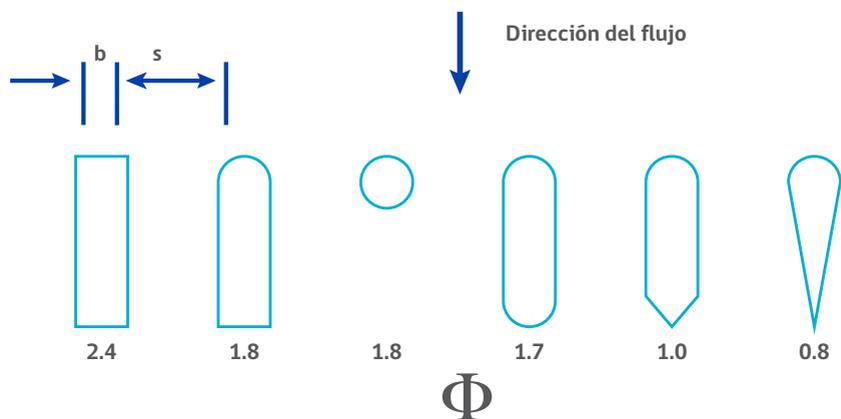


Figura 7.32 - Coeficiente dependiente de la forma de la barra.

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

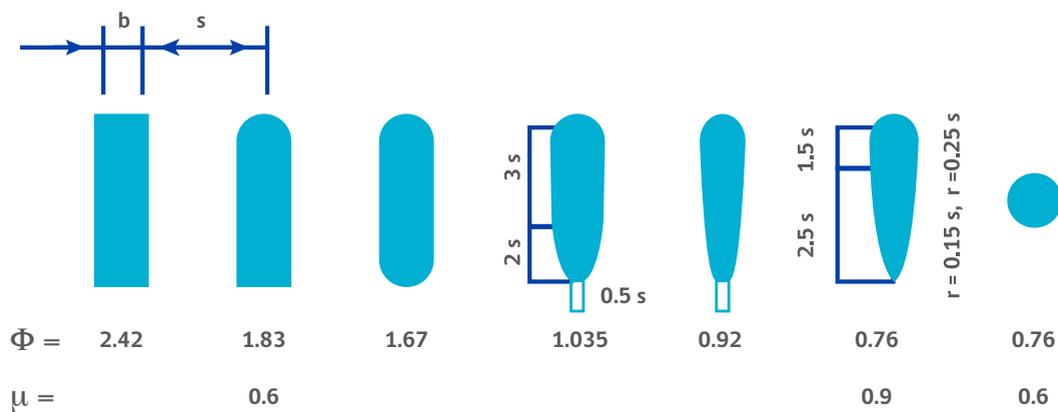


Figura 7.33 - Coeficiente de contracción, μ , dependiente de la forma de la barra.

Fuente: Basado en 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 7.30, 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.



Figura 7.34 - Cámara de carga para una microcentral que incorpora todos los elementos básicos.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.35 - Diseño adecuado de una reja de limpieza en una cámara de carga.
Fuente: Elaboración propia.

7.1.8 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.



Figura 7.36 - Elementos principales en la instalación de una tubería de presión.
Fuente: Elaboración propia.

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 restituído 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.

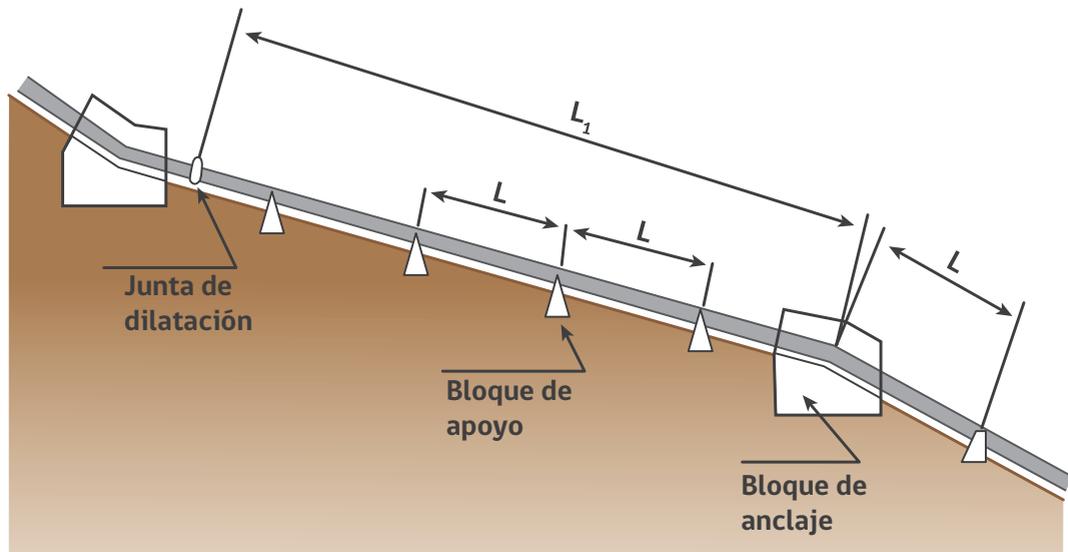


Figura 7.37 – Bloques de anclaje y apoyo.

Fuente: Basado en 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.

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.

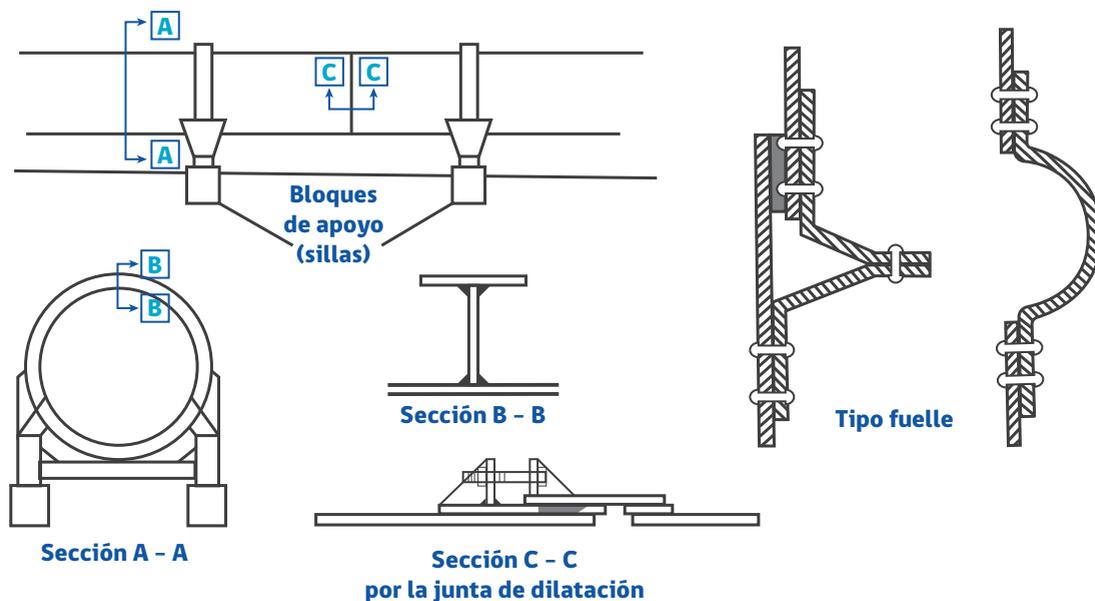


Figura 7.38 – Anillos de soporte para sujeción de tuberías.

Fuente: Basado en 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 7.6 – Materiales de Tubería Penstock para centrales hidroeléctricas a pequeña escala.

Fuente: Department of Energy – Energy Utilization Management Bureau “Manuals and Guidelines for Microhydropower Development in Rural Electrification” JICA Volume I, Filipinas, June (2009).

	Tubería de Acero		
	Tubería de Acero	Tubería de hierro dúctil	Tubería con soldadura en espiral
Características	<ul style="list-style-type: none"> -Preferidas para tubería Penstock en mini-centrales hidroeléctricas -Material confiable dada su establecida técnica de diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> -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. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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	Ø 3.000 aprox.	Ø 2.600	Ø 2.500
Presión interna permitida (kgf / cm²)	133	aprox. 40	15
Propiedad hidráulica	0.010 – 0.014 (aprox. 0.012 en general)	0.011 – 0.015 (aprox. 0.012 en general)	-
Manejo para instalación	De inferior manejabilidad que tubería FRP.	De inferior manejabilidad que tubería FRP.	De inferior manejabilidad que tubería FRP.
Estanqueidad de agua	Buena estanqueidad, según el método de conexión establecido por las uniones de articulación.	Buena.	No hay problema.

	Tubería en base a resina sintética		
	PVC	Tubería espiral soldada	Tubería FRP
Características	<ul style="list-style-type: none"> -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. 	<ul style="list-style-type: none"> -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. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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 FRPM, con una pared más delgada, que no estará sujeta a cargas externas como nieve.
Máximo diámetro del tubo	Tubería gruesa: Ø 300 Tubería fina: Ø 800	Ø 2.000	Ø 3.000
Presión interna permitida (kgf / cm²)	Tubería gruesa: 10 bar Tubería fina: 6 bar	2.0 - 3.0	Class A: 22.5
Propiedad hidráulica	0.009 - 0.010	0.010 - 0.011	0.010 - 0.012 (aprox. 0.011 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.
Estanqueidad de 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.

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 7.24) 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.



Figura 7.39 - Tubería de presión en acero instalada en sobre el terreno en ladera con soportes equidistantes (sillas).

Fuente: Elaboración propia.

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:

$$H_s = (Z^2 - 1) * H_b$$

donde,

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

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:

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

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 ($L \leq 3 * H_b$) ó $t = 10$ para tuberías largas ($L > 3 * H_b$).

L : Longitud de la tubería [m].

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

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

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 7.7.

Los gráficos de las figuras 7.40 y 7.41 entregan el valor de Z^2 para los casos de sobrepresión y depresión, respectivamente.

Tabla 7.7 – Valores de K para diferentes materiales de tubería.

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

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

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].

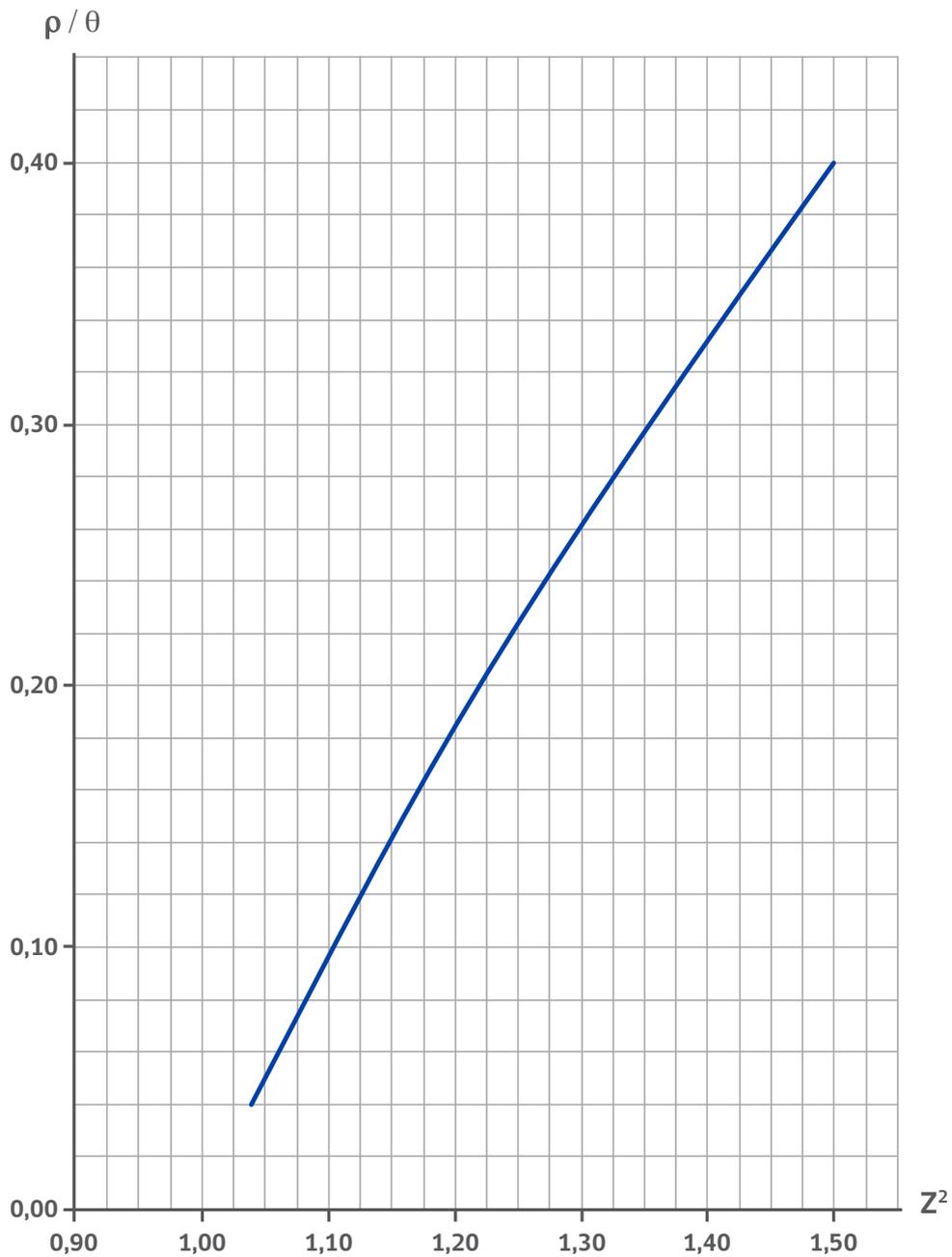


Figura 7.40 – Gráfica de Z^2 en función de ρ / θ para sobrepresión.

Fuente: Eletrobras " Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidreletricas, 2000.

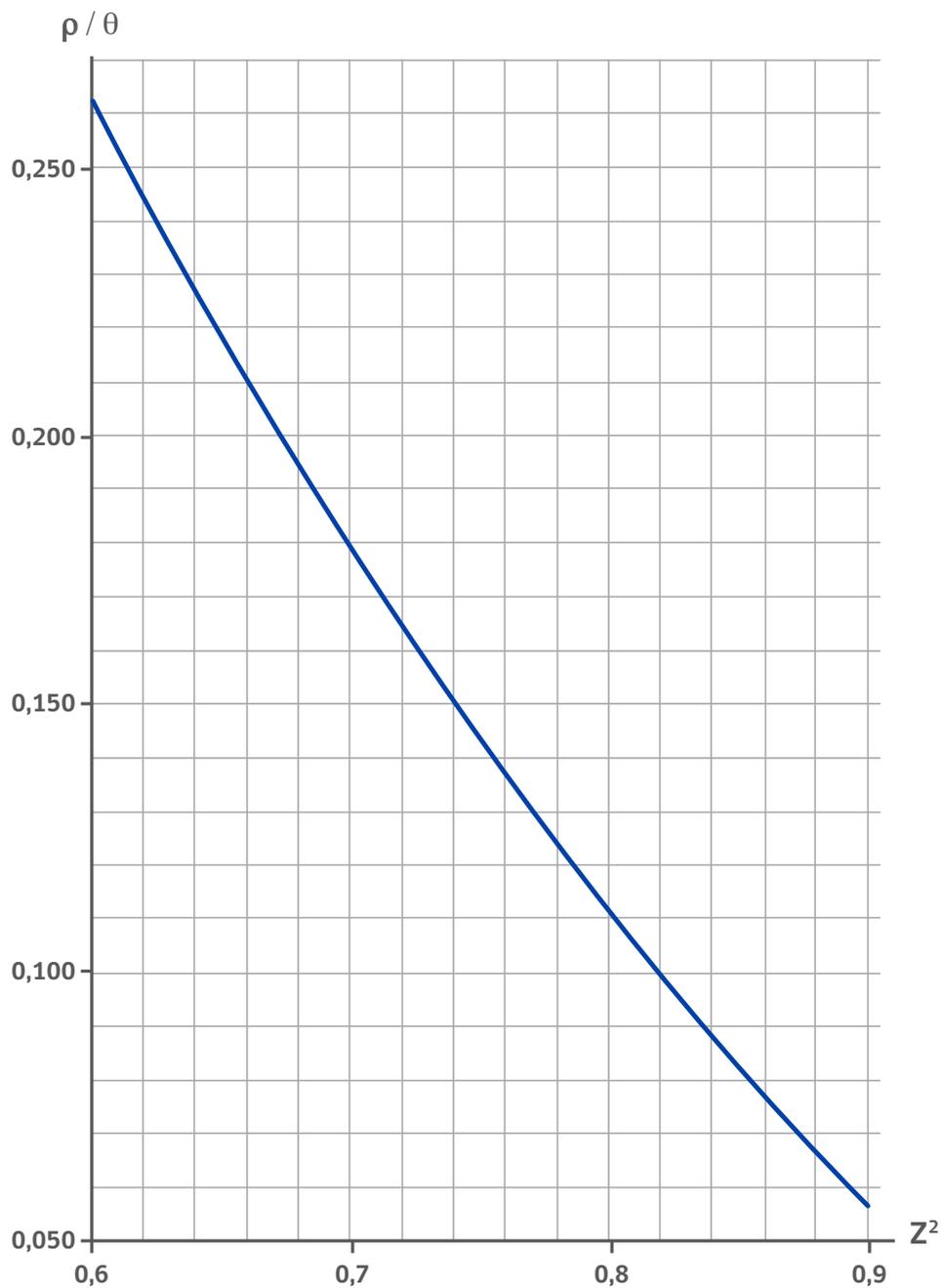


Figura 7.41 - Gráfica de Z^2 en función de ρ / θ para depresión.

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:

$$e = P_t * D_i / (2 * q_a * h) + d$$

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].

q_a: Tensión máxima soportada por el material, en [kgf/cm²]. En acero SS400 es de 1.300 [kgf/cm²].

h: Eficiencia de la soldadura (0,85 a 0,90).

d: 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 7.42 - Localización de manómetro en Tubería de Presión.

Fuente: Elaboración propia.

7.1.9 Casa de máquinas

La tubería de presión es la encargada de transportar el agua a presión desde la cámara de carga. 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 un 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 7.36 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.



Figura 7.43 - Ejemplo 1 de Casas de Máquina construidas en canales de regadío.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.44 - Ejemplo 2 de Casas de Máquina construídas en canales de regadío.
Fuente: Elaboración Propia.

7.2. Tablero eléctrico de control, medición y protección

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

7.2.1 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 7.37 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.).



Figura 7.45 - Ejemplo de tablero eléctrico de control, medición y control (Amperímetro y Voltímetro por fase; Frecuencímetro, Horómetro, Parada Manual, Medidor de Energía).

Fuente: Elaboración propia.

7.2.2 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:

- **Sistema de 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).

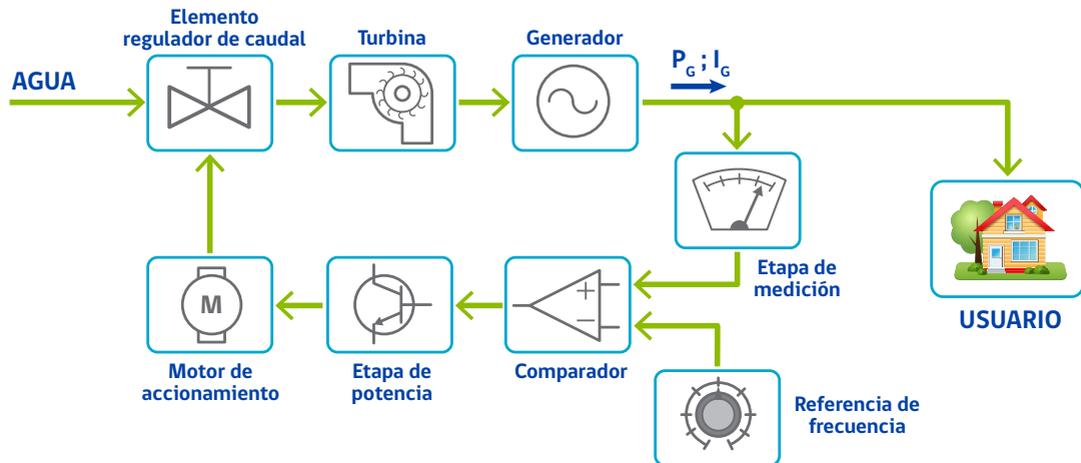


Figura 7.46 - Esquema simplificado de regulación por variación de caudal.

Fuente: Basado en 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.

- **Sistema de 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 (PG) variando la potencia disipada en la carga balasto (PB), según cambie la potencia utilizada por el usuario (PC). La potencia PB es controlada por la frecuencia de la tensión generada, que depende del valor de PC. 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.

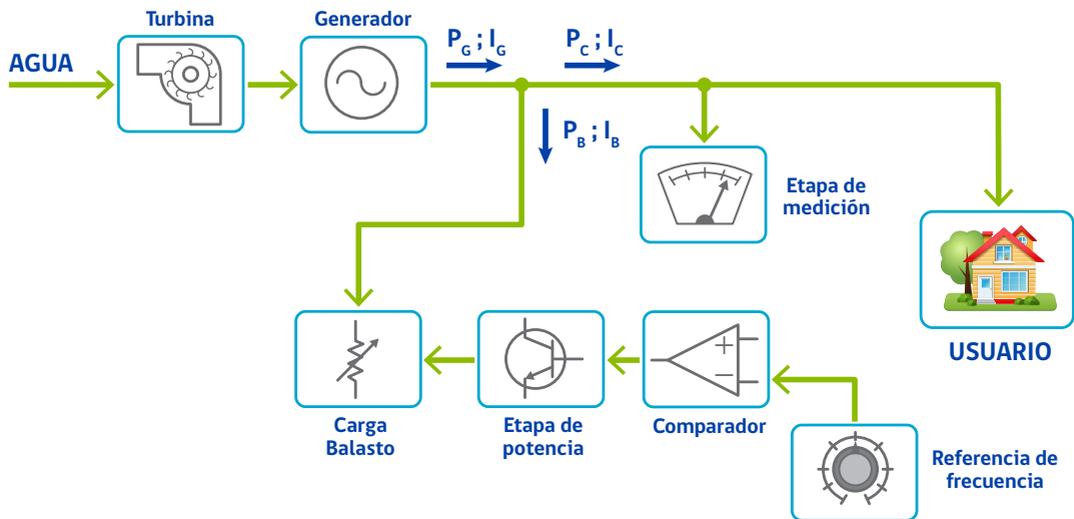


Figura 7.47 – Esquema simplificado de regulación por carga lastre (balasto).

Fuente: Basado en 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 7.48 – Instalación tipo de control electrónico de carga con carga lastre (o balasto) de disipación al aire, instalada en el muro.

Fuente: Elaboración propia.

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 la 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.



Figura 7.49 - Turbina hidráulica con adecuadas rejillas de protección en partes móviles.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 7.50 - Ejemplo de Casa de Máquinas iluminada, ventilada, limpia y ordenada para permitir circulación y servicios sin riesgos para las personas.
Fuente: Elaboración propia.

7.2.3 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)



Figura 7.51 - Muestra de zanjado y conexiones en malla de tierra.
Fuente: Elaboración propia.

8

DIMENSIONADO
MICROCENTRAL Y
DETERMINACIÓN DE
SUPERFICIE DE RIEGO AFECTA



8. Dimensionado Microcentral y Determinación de Superficie de Riego Afecta

Para el dimensionado de 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.

8.1. Ecuaciones básicas

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

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

P: potencia de salida, kW

Q: caudal nominal de diseño, m³/s

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

eTotal: rendimiento global $\eta_{\text{turbina}} * \eta_{\text{generador}} * \eta_{\text{transformador}}$

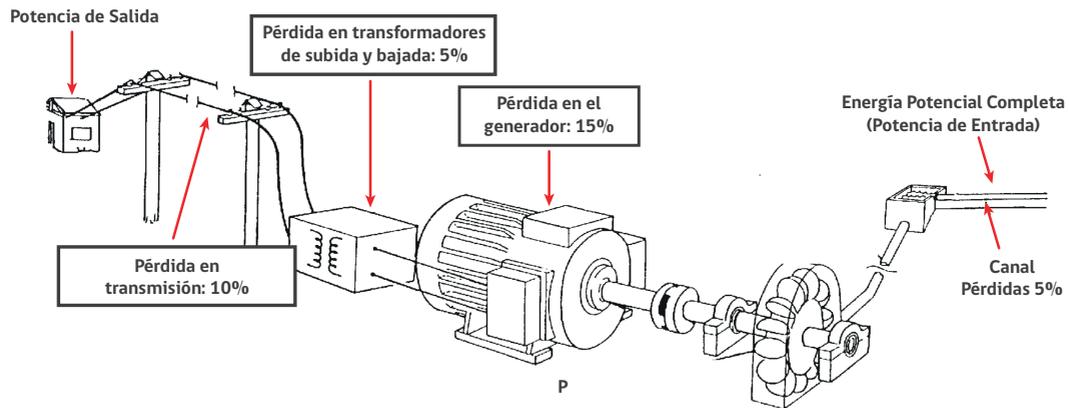


Fig. 8.1 - Rendimientos en los componentes de una microcentral operando a plena carga y rendimientos considerados.

La energía se calculará de la forma siguiente:

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

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:

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

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 8.1 - Expresiones para determinar potencia y/o energía requerida por una bomba y producida por una turbina.

Fuente: Elaboración propia.

Para Calcular	Bomba	Turbina	Unidades
Potencia [kW]:	$q * H / (367 * e)$	$q * H * e / 367$	$q [\text{m}^3 / \text{h}] ; h [\text{m}]$
Energía [kWh]:	$V * H / (367 * e)$	$V * H * e / 367$	$e \% / 100 ; V [\text{m}^3]$

8.2. 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 %):

$$E = V * H / (367 * e_{0,1}) = 2.400 * 35 / (367 * 0,65) = 352 \text{ [kWh/ha/mes]}$$

El valor anterior será empleado en el cálculo de superficie de riego afecta por el sistema de generación.

8.3. Estimación de la Producción de Energía

8.3.1 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 8.2.

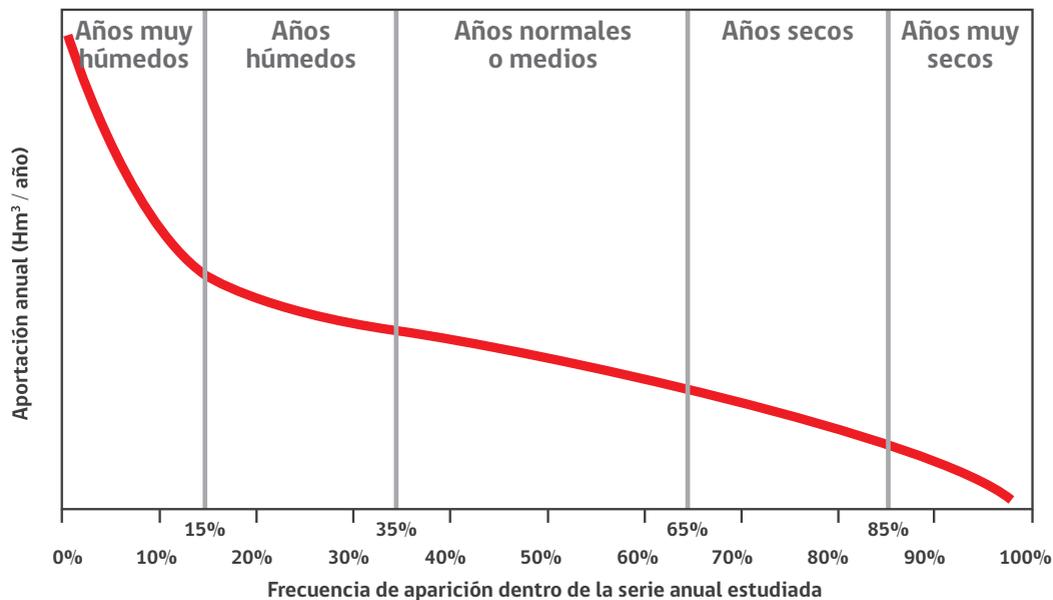


Figura 8.2 - Tipo de año hidrológico en función de aportación anual.

Fuente: IDAE "Microcentrales hidroeléctricas" España (2004).

A continuación, se describe el proceso de selección de equipamiento, cálculo de generación y superficie de riego afecta.

8.3.2 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 8.2 - 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	1027	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												

8.3.3 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.

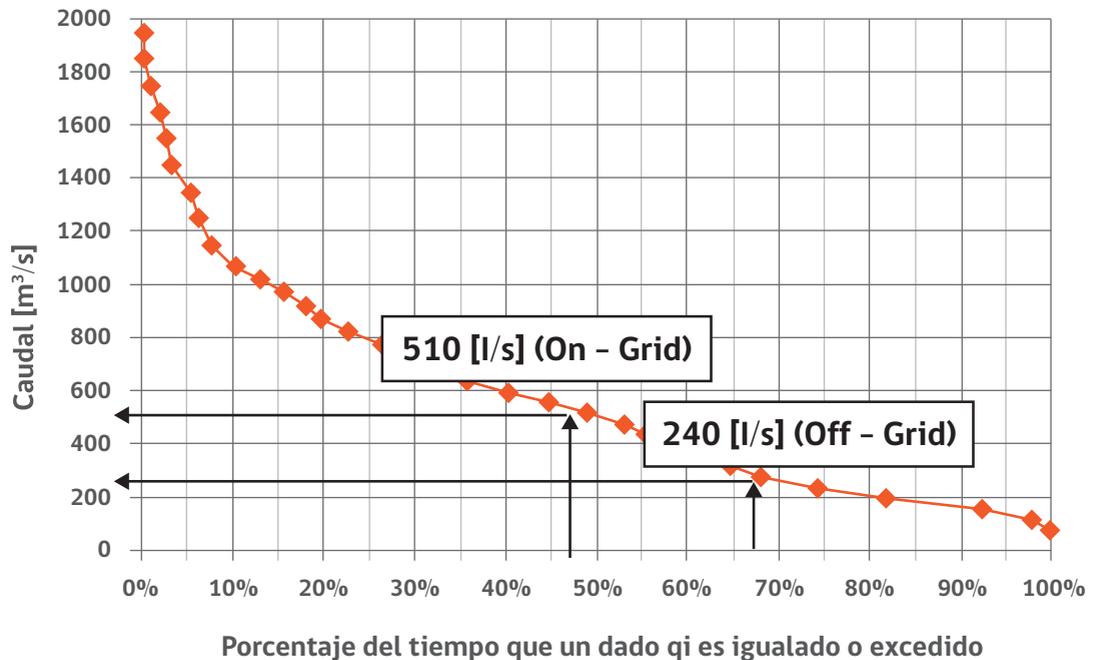


Figura 8.3 - Definición del Caudal de diseño en la Curva de Duración de Caudales, para sistemas aislados y conectados a red.

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.

8.3.4 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 8.3 – Especificaciones de turbinas seleccionada.

Turbina seleccionada:	Flujo Cruzado
Potencia estimada:	100 kW (125 kVA)
Caudal de diseño (Qd):	0 [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 de flujo cruzado de 110 kW, en su línea de productos de fabricación.

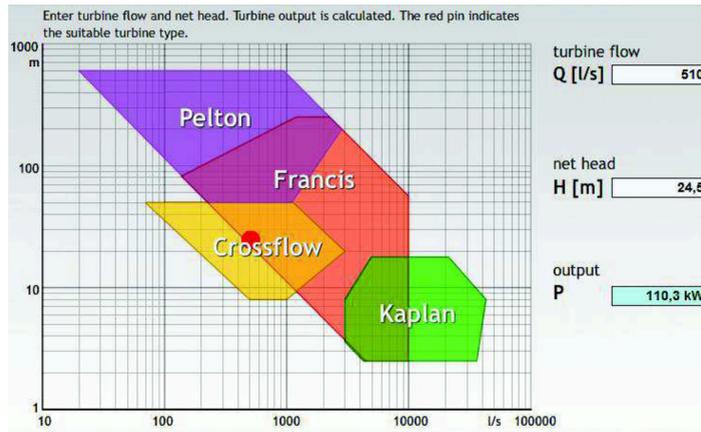


Figura 8.4 - Diagrama de Selección de Turbina de Flujo Cruzado con conexión a red (On-Grid).

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:

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

Tabla 8.4 – Especificaciones de turbinas seleccionada.

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.

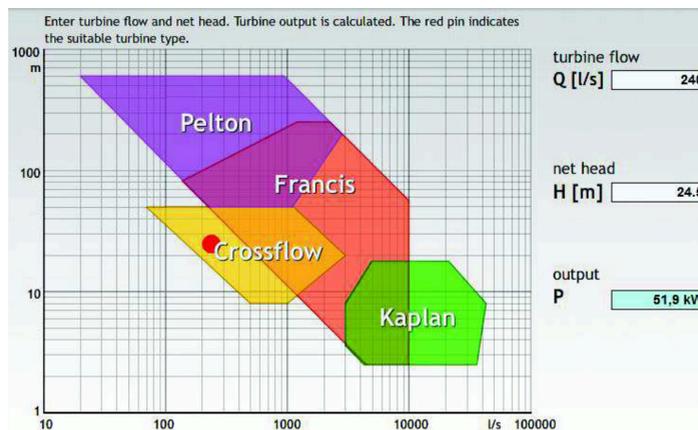


Figura 8.5 – Diagrama de Selección de Turbina de Flujo Cruzado para un sistema aislado (Off-Grid).

Fuente: <http://www.wb-wasserkraft.de/flash/en/index.html>

8.3.5 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.

Tabla 8.5 - Formato ejemplo de presentación de planilla de cálculo de generación anual de energía (Serie de caudales medios mensuales de 25 años).

TURBINA Flujo 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]	E [M Wh]
1900	2000	1950	1	0	0	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	29,2	2,86
1800	1900	1850	0	0	0	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	0	0,00
1700	1800	1750	2	1	1	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	58,4	5,72
1600	1700	1650	3	1	2	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	87,6	8,58
1500	1600	1550	2	1	3	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	58,4	5,72
1400	1500	1450	2	1	3	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	58,4	5,72
1300	1400	1350	6	2	5	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	175,2	17,17
1200	1300	1250	3	1	6	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	87,6	8,58
1100	1200	1150	4	1	8	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	116,8	11,44
1050	1100	1075	8	3	10	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	233,6	22,89
1000	1050	1025	8	3	13	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	233,6	22,89
950	1000	975	8	3	16	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	233,6	22,89
900	950	925	7	2	18	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	204,4	20,03
850	900	875	5	2	20	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	146	14,30
800	850	825	9	3	23	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	262,8	25,75
750	800	775	11	4	26	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	321,2	31,47

700	750	725	12	4	30	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	350,4	34,33
660	700	680	9	3	33	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	262,8	25,75
620	660	640	7	2	36	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	204,4	20,03
580	620	600	14	5	40	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	408,8	40,05
540	580	560	13	4	45	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	379,6	37,19
500	540	520	13	4	49	100	80	510	1,80	1,50	24,5	98,5	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	0,18	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
													Energía [MWh]:	651,1
													Factor de Planta:	77%

Cantidad de datos empleados

Frecuencia acumulada

Pérdida de carga

Altura neta

Generación y Factor de Planta

Si se procesan los datos de la tabla 8.2 con los caudales de diseño indicados en la Fig. 8.3 se obtiene los resultados presentados en las Tablas 8.6 y 8.7

Tabla 8.6 – Generación hidroeléctrica para turbina de 100 kW (125KVA) (On-Grid).

Fuente: Elaboración propia.

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 [M Wh]
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]:			624,8
									Factor de Planta:			71,4%		

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 8.7 - Generación hidroeléctrica para turbina de 100 kW (125KVA) (On-Grid).

Fuente: Elaboración propia.

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	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	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	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	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	76	87	81	210	1,32	1,17	23,8	39,8	350,4	13,96				
180	200	190	12	4	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	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%				

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 8.8 – Comparativo de los resultados del ejemplo para instalación On-Grid y Off-Grid.

Fuente: Elaboración propia.

Sistema	Q diseño [m ³ /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

8.4. 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 8.2.

Luego, el valor de la superficie afecta por la energía generada, **para el sistema On – Grid**, estaría dada por:

$$\text{Superficie de riego afecta} = \frac{\text{Energía neta producida por MCH (ENP)} \quad [\text{kWh/mes}]}{\text{Demanda de energía hídrica del cultivo (DEC)} \quad [\text{kWh/ha /mes}]}$$

$$= 39.583 / 352 \text{ [kWh/mes]} / \text{ [kWh/ha/mes]}$$

$$= 112 \text{ [ha]}$$

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]**.



9

FACTORES CRÍTICOS PARA LA VIABILIDAD DE UNA MICRO HIDROELECTRICA

9. Factores Críticos para la Viabilidad de una Micro 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 devaluación, 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)

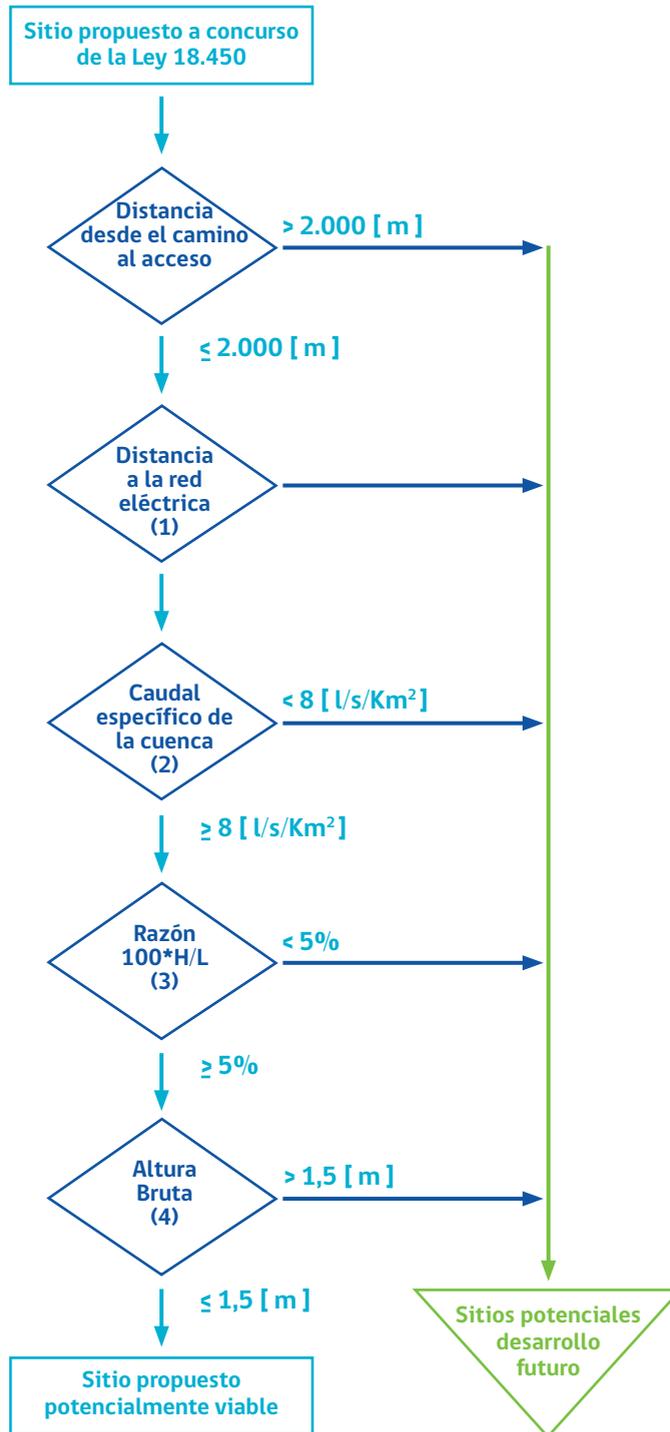
Después de la evaluación preliminar el sitio es visitado y en base a la información obtenida se procede a definir los siguientes parámetros:

- 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.

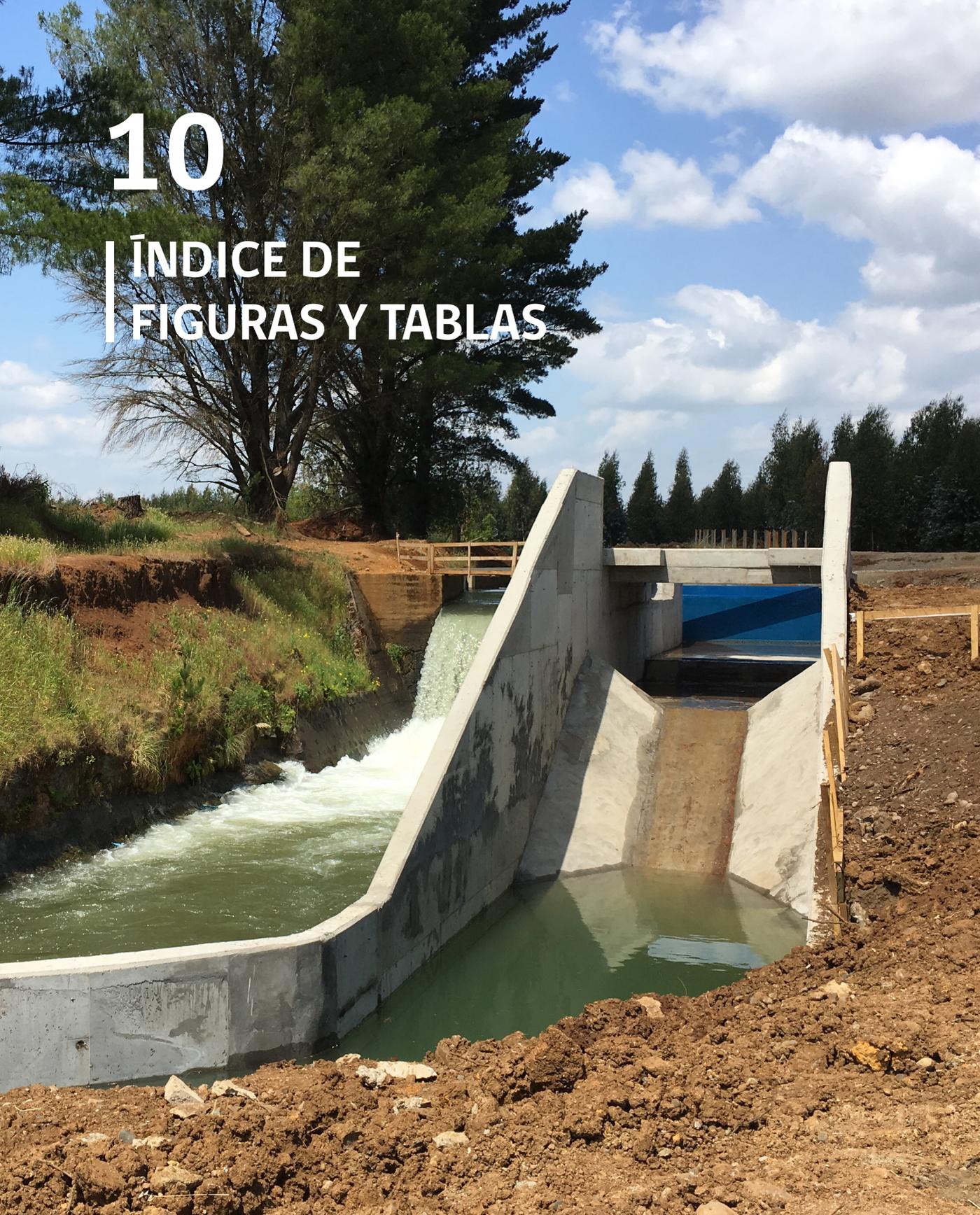
Notas:

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 ≥ 8 [l/s/km²] 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).



10

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS



ÍNDICE DE FIGURAS		Pág.
1.1	Esquema para el desarrollo energético en el siglo XXI.	9
1.2	Comparación entre un sistema convencional de generación con red interconectada on-grid y una solución del tipo isla off-grid.	10
3.1	Elementos básicos para el desarrollo de un aprovechamiento hidroeléctrico.	37
3.2	Esquema de diseño de instalación de una turbina de flujo cruzado en paralelo a canal de regadío.	42
4.1	Esquema de instalación de microcentral con sus principales componentes.	55
4.2	Tipos de turbinas para la generación hidroeléctrica 1.	59
4.3	Tipos de turbinas para la generación hidroeléctrica 2.	60
4.4	Turbina Pelton de 12 kW en un sistema isla instalada en Talabre - Chile.	61
4.5	Turbina Pelton operando con 100 l/s, altura bruta de 90 m, potencia de 100 kW, instalada en Socaire -Chile.	62
4.6	Turbina Turgo de 4 kW emplazada en Mañihuales -Chile.	63
4.7	Turbina flujo cruzado de 370kW instalada en Faja Maisan -Chile.	64
4.8	Turbina de flujo cruzado el caudal es de 380 l/s y posee una altura bruta de 18m, con potencia de 37,6 kW, instala en Río Grande -Chile.	65
4.9	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])	66
4.10	Turbina Francis instalada en Puerto Natales - Chile.	68
4.11	Turbina Francis instalada en Temuco - Chile.	68
4.12	Simulación computacional de la trayectoria del agua en una turbina Kaplan.	70
4.13	Generador de Turbina Kaplan de 250 kW, Agrícola Dosal, Curicó - Chile.	70
4.14	Central hidro con Turbina Semi-Kaplan de 500 kW Central Munitque 1 Canal Biobío Negrete - Chile.	71
4.15	Central con turbina Francis Central Bureo Canal Biobío Negrete - Chile.	72
4.16	Comparación entre las curvas de rendimientos para diferentes tipos de turbinas.	73

ÍNDICE DE FIGURAS		Pág.
4.17	Diagrama de selección de bombas como turbinas de KSB (5 - 750 kW).	74
4.18	Tornillo Arquímedes Central Alto La Viña Canal Biobío Sur - Chile.	75
4.19	Rendimiento comparativo de turbinas tipo Tornillo de Arquímedes, producción de energía para diferentes pares caudal altura de operación.	76
4.20	Turbina hidrocínética de 0,5kW instalada en Linares - Chile.	77
5.1	Aplicación de diferentes tipos de turbinas según caudal y altura de operación.	85
5.2	Turbina Flujo Cruzado instalada en Faja Maisan - Chile.	88
5.3	Rangos de aplicación y selección de las turbinas.	89
5.4	Diagrama de selección de turbina fabricante 1.	90
5.5	Diagrama de selección de turbina fabricante 2.	91
5.6	Diagrama de selección de turbina recomendado.	92
5.7	Curvas típicas de eficiencia para diferentes tipos de turbinas.	93
6.1	El ciclo hidrológico.	95
6.2	Áreas aportantes en una cuenca entre dos cursos a un mismo punto B.	96
6.3	Histograma de frecuencia de caudales.	97
6.4	Curvas de Duración de Caudales, con regulación y formas según el tipo de dato empleado (diario, mensual, anual)	98
6.5	Curva de Duración de Caudales.	99
6.6	Ejemplo de Curva Hipsométrica de un cauce mostrando la altura media de la cuenca.	102
6.7	Pendiente de un cauce.	103
6.8	Flowsheet típico de Balance hidrológico de una cuenca (Método NRECA).	106
6.9	Determinación de la altura con manguera de nivelación.	109

ÍNDICE DE FIGURAS		Pág.
6.10	Modelo de tabla de registro de datos.	110
6.11	Modelo de tabla de registro de datos.	110
6.12	Determinación de altura con nivel de carpintero.	112
6.13	Uso del altímetro para medir la altura.	113
6.14	Nivel Abney (Eclímetro) con goniómetro.	114
6.15	Determinación de la altura usando eclímetro y huincha.	116
6.16	Cálculo de la altura usando el método del nivel de ingeniero.	118
6.17	Esquema de instalación para determinar pérdidas de carga.	120
6.18	Esquema de instalación para determinar pérdidas de carga.	122
6.19	Área bajo la curva (A) y factor de conversión (k).	124
6.20	Tipos de gráficos obtenidos.	125
6.21	Medición del caudal usando el método del recipiente.	126
6.22	Formas comunes de recipientes: Cilíndrico (a) y Tronco-cónico (b).	127
6.23	Sección transversal de la corriente de agua.	129
6.24	Sección transversal de la corriente de agua.	133
6.25	Tipos de vertederos y fórmulas para cálculo del caudal y recomendaciones para su construcción.	134
7.1	Disposición de las obras civiles que componen una central hidroeléctrica de pasada.	140
7.2	Depósito en segmento curvo del canal.	142
7.3	Depósitos en un segmento curvo de un cauce.	143
7.4	Depósito de sedimentos según formas de secciones.	144

ÍNDICE DE FIGURAS		Pág.
7.5	Bocatoma lateral con barrera para embalsamiento y medidas de eliminación de carga de sólidos.	145
7.6	Componentes de una bocatoma en un canal de riego.	147
7.7	Esquema de bocatoma de orificio sumergido.	148
7.8	Bocatomas con barrera tipo azud y captación lateral.	149
7.9	Captación tipo tirolesa con rejas soportadas.	150
7.10	Captación tipo tirolesa con rejas en voladizo.	150
7.11	Características de la reja tipo Coanda con la forma de la obra de captación.	151
7.12	Instalación de captación de agua para microcentrales hidroeléctricas.	152
7.13	Esquema de instalación de bocatoma de superficie con placa perforada.	153
7.14	Esquema de un desarenador al inicio del canal.	155
7.15	Esquema de un desarenador a la entrada de la cámara de carga.	156
7.16	Dimensiones características por zonas del sedimentador.	157
7.17	Trayectoria de partículas en el proceso de sedimentación.	157
7.18	Observaciones en el diseño de desarenadores.	158
7.19	Desarenadores con deflectores y muros directrices.	159
7.20	Conducciones abiertas y coeficiente de rugosidad de Manning.	160
7.21	Altura bruta (H_b) de un proyecto hidroeléctrico.	163
7.22	Vista de una sección transversal de un canal y elementos.	166
7.23	Perímetro mojado, P.	167
7.24	Esquema de proceso de diseño de un canal.	169

ÍNDICE DE FIGURAS		Pág.
7.25	Solución gráfica de la ecuación de Manning para diseño de canales.	170
7.26	Coefficientes de rugosidad para la fórmula de Manning.	172
7.27	Ejemplo de tubería de venteo al inicio de una tubería de salida de una cámara de carga.	172
7.28	Solución gráfica de la ecuación de Manning para tuberías.	173
7.29	Esquema de una cámara de carga.	175
7.30	Cámara de carga turbina axial con rejillas antivórtice.	176
7.31	Esquema de una reja de limpieza.	177
7.32	Coefficiente dependiente de la forma de la barra.	179
7.33	Coefficiente de contracción, μ , dependiente de la forma de la barra.	179
7.34	Cámara de carga para una microcentral que incorpora todos los elementos básicos.	180
7.35	Diseño adecuado de una reja de limpieza en una cámara de carga.	181
7.36	Elementos principales en la instalación de una tubería de presión.	182
7.37	Bloques de anclaje y apoyo.	184
7.38	Anillos de soporte para sujeción de tuberías.	185
7.39	Tubería de presión en acero instalada en sobre el terreno en ladera con soportes equidistantes (sillas).	188
7.40	Gráfica de Z^2 en función de ρ / θ para sobrepresión.	191
7.41	Gráfica de Z^2 en función de ρ / θ para depresión.	192
7.42	Localización de manómetro en Tubería de Presión.	194
7.43	Ejemplo 1 de Casas de Máquina construídas en canales de regadío.	195
7.44	Ejemplo 2 de Casas de Máquina construídas en canales de regadío.	196

ÍNDICE DE FIGURAS		Pág.
7.45	Ejemplo de tablero eléctrico de control, medición y control (Amperímetro y Voltímetro por fase; Frecuencímetro, Horómetro, Parada Manual, Medidor de Energía).	198
7.46	Esquema simplificado de regulación por variación de caudal.	199
7.47	Esquema simplificado de regulación por carga lastre (balasto).	201
7.48	Instalación tipo de control electrónico de carga con carga lastre (o balasto) de disipación al aire, instalada en el muro.	202
7.49	Turbina hidráulica con adecuadas rejillas de protección en partes móviles.	203
7.50	Ejemplo de Casa de Máquinas iluminada, ventilada, limpia y ordenada para permitir circulación y servicios sin riesgos para las personas.	203
7.51	Muestra de zanjado y conexiones en malla de tierra.	205
8.1	Rendimientos en los componentes de una microcentral operando a plena carga y rendimientos considerados.	207
8.2	Tipo de año hidrológico en función de aportación anual.	210
8.3	Definición del Caudal de diseño en la Curva de Duración de Caudales, para sistemas aislados y conectados a red.	212
8.4	Diagrama de Selección de Turbina de Flujo Cruzado con conexión a red (On-Grid).	214
8.5	Diagrama de Selección de Turbina de Flujo Cruzado para un sistema aislado (Off-Grid).	215

ÍNDICE DE TABLAS		Pág.
1.1	Categoría y parámetros a considerar para la sostenibilidad de un proyectos de minired con microcentral hidroeléctrica.	12
3.1	Ejemplo de acciones de Mantenimiento de obras civiles en central hidroeléctrica.	48
4.1	Clasificación de las centrales hidráulicas segun la forma de captación y la capacidad de regulación del recurso.	53
4.2	Clasificación de las centrales hidráulicas según la potencia instalada.	54
4.3	Componentes de una central hidroeléctrica.	56
4.4	Tipos de turbinas empleadas en esquemas micro hidráulicos.	59
4.5	Proveedores relevantes de sistemas de microhidrogeneración (Potencia ≤ 100 kW).	79
5.1	Selección del tipo de turbina basado en el número específico.	87
6.1	Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad K_c .	101
6.2	Distribución de áreas y elevación en una cuenca.	103
6.3	Estimación de pendiente de un cauce.	104
6.4	Métodos de medición de caída bruta.	107
6.5	Lecturas en cámara de carga y casa de máquinas.	113
6.6	Planilla de registro de datos (I).	116
6.7	Planilla de registro de datos (II).	118
6.8	Valores de k según la profundidad y el material del cauce.	129
6.9	Valores de k según la relación S/p y el material del cauce.	130
6.10	Valores de k según la profundidad y el material del cauce.	135
7.1	Talud recomendado para canales de sección trapezoidal.	161
7.2	Velocidad máxima recomendada para diferentes tipos de material.	162

ÍNDICE DE TABLAS		Pág.
7.3	Coefficientes de rugosidad para el diseño de canales.	164
7.4	Velocidades mínimas para evitar sedimentación.	168
7.5	Características de las secciones transversales.	169
7.6	Materiales de Tubería Penstock para centrales hidroeléctricas a pequeña escala.	186
7.7	Valores de K para diferentes materiales de tubería.	190
8.1	Expresiones para determinar potencia y/o energía requerida por una bomba y producida por una turbina.	208
8.2	Formato ejemplo de presentación de serie hidrológica de caudales medios mensuales disponibles para generación en bocatoma de captación, en [l/s].	211
8.3	Especificaciones de turbinas seleccionada.	213
8.4	Especificaciones de turbinas seleccionada.	215
8.5	Formato ejemplo de presentación de planilla de cálculo de generación anual de energía (Serie de caudales medios mensuales de 25 años).	216
8.6	Generación hidroeléctrica para turbina de 100 kW (125KVA) (On-Grid).	218
8.7	Generación hidroeléctrica para turbina de 100 kW (125KVA) (On-Grid).	220
8.8	Comparativo de los resultados del ejemplo para instalación On-Grid y Off-Grid.	221



www.cnr.gob.cl