

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
MAESTRÍA EN ENERGÍA Y AMBIENTE



ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL DISEÑO, MONTAJE Y  
OPERACIÓN DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
EN LA FINCA SANTA ELENA EN EL DEPARTAMENTO DE  
ESCUINTLA**

**INGENIERA CIVIL**

**MÓNICA NOEMY MAZARIEGOS RAMÍREZ**

**Guatemala, Abril de 2008**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL DISEÑO, MONTAJE Y  
OPERACIÓN DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
EN LA FINCA SANTA ELENA EN EL DEPARTAMENTO DE  
ESCUINTLA**

POR

**INGENIERA CIVIL**

**MÓNICA NOEMY MAZARIEGOS RAMÍREZ**

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

**Guatemala, Abril de 2008**

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERIA

### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III:	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	
SEC. ACADÉMICO:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADORA	Inga. Gloria Estela Hernández Samayoa
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL DISEÑO, MONTAJE Y OPERACIÓN DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA FINCA SANTA ELENA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 23 de Noviembre de 2007.

Inga. Mónica Noemy Mazariegos Ramírez

## **AGRADECIMIENTO**

### **Dios**

Amigo maravilloso, Padre proveedor quien con su infinita misericordia me ha dado la vida e inteligencia para lograr mis metas y sueños.

### **Virgen María**

Madre amorosa quien intercede por todos ante nuestro padre Dios, modelo de vida, con sencillez y humildad en el servicio con Amor.

### **Mi Familia**

Por sus Consejos, dedicación y ánimo

### **Narciso Alonzo Muralles Muralles**

Por tu ayuda, apoyo, ánimo cuando pensaba que seria difícil continuar.



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS	V
GLOSARIO	VII
SIMBOLOGÍA	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRIDUCCIÓN	XV
<b>1. EVALUACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS</b>	<b>1</b>
1.1. Destinos (usos) y destinatarios (sectores y usuarios)	1
1.1.1. En relación con los requerimientos de electricidad.	1
1.1.2 En relación con la capacidad de pago	2
1.2 La demanda de capacidad en la Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH)	3
<b>2. EVALUACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO</b>	<b>5</b>
2.1. Las herramientas del planificador	5
2.2. Análisis regional. Indicadores de calidad de cuenca	6
2.3. Potencial hidroeléctrico teórico bruto (P.H.T.B.).	7
2.4. Densidad del P.H.T.B.	8
2.5. Potencial hidroeléctrico técnico aprovechable (P.H.T.A.)	9
2.6. Preselección del lugar de abastecimiento en gabinete	9
2.6.1. Verificación y ajuste con estudios de campos	9
2.6.1.1. Evaluación del desnivel aprovechable	10
2.6.1.2. La curva de duración de caudal	10
2.7. Ajuste de la oferta-demanda caudal y altura de diseño	10
<b>3. TECNOLOGÍA DE CONVERSIÓN PARA PCH</b>	<b>13</b>
3.1. Compromiso en el costo, calidad y sustentabilidad	13
3.2. Descripción de los componentes tecnológicos de una PCH	14
3.2.1. La obra de cierre y captación	14
3.2.2. La obra de conducción o de derivación	15
3.2.3. La pequeña central o sala de máquinas	15
3.2.4 Las obras de distribución (Redes Eléctricas)	16
3.3. Características particulares de la tecnología de PCH	16
3.4. Obras de captación	17
3.4.1. Consideraciones generales	17
3.4.2. Toma de agua sin obra de cierre	19
3.4.3 Tomas de agua con obras de cierre	20
3.4.3.1. Centrales “de pasada”	21

3.4.3.2. Centrales de “regulación”	21
3.4.3.3. Materialización de las obras de cierre (tipos y cuidados constructivos)	22
3.4.3.3.1. Obras de cierre de pantalla con contrafuerte	22
3.4.3.3.2. Obras de cierre de terraplén	23
3.4.3.3.3. Obras de cierre de enrocado	24
3.4.3.3.4. Obras de cierre de gravedad	24
3.5. Obras de conducción	24
3.5.1. Canales	26
3.5.2. Cámara de carga	28
3.5.3. Tuberías de presión	28
3.6. La pequeña central	31
3.6.1. Conversión hidromecánica	32
3.6.1.1. La turbina Pelton	35
3.7. Parámetros del diseño	37
3.7.1. Características constructivas	39
3.7.2. La turbina axial	39
3.7.3. Generación de electricidad	42
3.7.3.1. Carga de baterías	45
3.7.3.2. Generación alterna	45
3.7.4. La regulación de tensión y frecuencia	48
3.7.4.1 Sistemas y dispositivos de regulación	49
3.7.4.2 La regulación por carga	50
3.7.4.3. Regulación por caudal	51
3.8. Obras de distribución eléctrica	54
<b>4. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE DIFUSIÓN DE PCH</b>	<b>57</b>
4.1. Aspectos institucionales	57
4.2. Aspectos ambientales	58
4.2.1. Efectos ambientales que deben controlarse en el diseño y construcción de las PCH	58
4.2.2. Efectos ambientales que deben controlarse en la operación y mantenimiento de las PCH	60
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>61</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Suministro directo y uso final de cadena larga de conversión eléctrica	4
2.	Partes principales de una pequeña central hidroeléctrica	14
3.	Toma de captación del río	15
4.	Micro turbina	16
5.	Generador y tableros	16
6.	Desarrollo de flujo espiral en el lecho del río	18
7.	Toma del tipo tirolés para instalar en el lecho del río	19
8.	Toma de agua sin obra de cierre	20
9.	Toma de agua con obra de cierre	20
10.	Centrales de regulación	21
11.	Trabajo de zanjeado para los canales	25
12.	Fundición y construcción de los canales	25
13.	Canal trapezoidal	26
14.	Canal terminado	27
15.	Cámara de carga	28
16.	Diseño de tubería de presión	30
17.	Tubería a presión	31
18.	Etapas de selección de turbina	34
19.	El inyector y la forma en que proyecta el chorro sobre las cucharas	35
20.	Sistema de boquilla	36
21.	Turbina axial tubular	40
22.	Turbina axial de tipo bulbo	40
23.	Turbina axial de tipo ángulo recto	41
24.	Generación de corriente alterna	43
25.	Regulador de tipo oleomecánico	46
26.	Requerimientos básicos descritos utilizados en el diagrama del sistema	52
27.	Distribución monofásica	55



## ÍNDICE DE TABLAS

I.	Los resultados excedentes monetarios	2
II.	Evaluación particular	8
III.	Relación entre velocidad y diámetro para un tubo de polietileno de alta densidad	29
IV.	Relaciones para casos básicos generales	44
V.	Efectos ambientales que deben controlarse en el diseño y construcción de las PCH	58
VI.	Efectos ambientales que deben controlarse en la operación y mantenimiento de las PCH	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1:	Esquema de detalle del Desarenadore visto de planta y un corte en paralelo	69
Anexo 2:	Esquema de detalle del Desarenadore corte seccionado Trasversal	71
Anexo 1:	Esquema de detalle del tanque visto de planta	73
Anexo 1:	Esquema de detalle del tanque sección transversal y paralelo	75



## GLOSARIO

Balasto	Capa de grava que asienta las traviesas de las vías
Convertidores	Dispositivo para transformar una magnitud física en otra o para variar su valor
Carcaza	Estructura exterior galte compuesta por vigas
Discurrir	Corrido de un líquido
Embalar	Hacer que adquiera gran velocidad un motor
Emplazamientos	Colocar señalamientos de algún lugar en especial o punto determinado donde se colocara algo importante
Horoestacionales	Rango de hora
Regional	Porción de territorio determinado por carácter étnico o circunstancias especiales de clima
Macro región	Forma grande de un lugar establecido
Escorrentía	Corriente de agua que se vierte al rebalsar un depósito o cause de un río



## SIMBOLOGÍA

kW	Kilowatt
P (kW)	Potencia máxima demandada
Q(m <sup>3</sup> /seg)	Caudal
Hu	Altura útil de diseño y se da en metros lineales
MRT	Monofásica con retorno por tierra
PCH	Pequeña central hidroeléctrica
Q	Caudal

## **RESUMEN**

El aprovechamiento del recurso hídrico para la generación de energía comenzó en tiempos antiguos con el uso de ruedas hidráulicas muy rudimentarias pero que permitían la producción de fuerza motriz para aliviar el trabajo manual del hombre.

Fuerza motriz primero y energía eléctrica después fueron los productos energéticos, conque el recurso hídrico contribuyó, y lo continúa haciendo en la actualidad, con el progreso económico y la mejora de la calidad de vida de la población.

El proceso de conversión del recurso hídrico más difundido en la actualidad es la producción de energía eléctrica. El desarrollo de la tecnología ha permitido alcanzar altos niveles de eficiencia en la conversión de la energía hidráulica en energía eléctrica así como la instalación de grandes módulos de producción eléctrica. Basta como ejemplo mencionar el caso de la central hidroeléctrica Chixoy, esta ubicada en San Cristóbal Alta Verapaz, fue construida en el gobierno del General Shell Laugerud García en 1,977, a un costo de 825 millones de dólares y genera una capacidad de 300Mw.

Los sistemas eléctricos han evolucionado permanentemente hacia niveles crecientes de interconexión, primero nacionales, luego regionales y ahora internacionales. Los módulos de potencia de los productores eléctricos que se vinculan a estos sistemas interconectados son crecientes y las centrales térmicas han incrementado fuertemente su participación en el parque de la generación, desplazando a las centrales hidráulicas de la oferta eléctrica.

Los sistemas eléctricos interconectados han resuelto el abastecimiento del centro urbano y han penetrado parcialmente en áreas rurales. Quedan aún grandes áreas geográficas sin servicio eléctrico, la población rural que las habita, se encuentra mayoritariamente en situación precaria, con niveles de actividad económica de subsistencia y altos índices de necesidades sociales básicas insatisfechas, es decir, que existe una relación directa entre las condiciones socioeconómicas de esta población y la ausencia de una demanda que se exprese en términos de mercado para promover su abastecimiento.

Estas áreas rurales con pobladores alejados de las redes de distribución, con requerimientos energéticos insatisfechos, constituyen el ámbito principal donde la pequeña hidrogenación eléctrica encuentra su aplicación potencial, en tanto, se cuente con recursos hídricos locales suficientes.

Focalizado de esta manera el principal ámbito de aplicación de esta tecnología, el desarrollo del tema estará estrechamente vinculado con el mismo.

En el primer capítulo se determinó los requerimientos energéticos de la población rural capacidad y disposición al pago asociados a dichos requerimientos. En el segundo capítulo se evaluó el potencial hidráulico de la región y los indicadores de calidad hídrica, que permitió seleccionar zonas para satisfacer el abastecimiento con esta fuente energética existente. En el mismo capítulo se analizó cómo evaluar el potencial hidráulico aprovechable en un emplazamiento determinado. En el tercer capítulo se presenta una descripción de los componentes tecnológicos de una Pequeña Central Hidroeléctrica.

En el cuarto y último capítulo se describe los impactos ambientales de la tecnología y las medidas de mitigación asociadas así como algunas consideraciones de orden legal e institucional vinculadas a la difusión de la misma.

## **OBJETIVOS**

## **General**

Realizar una guía de descripción técnica para la PCH en la finca Santa Elena en el departamento de Escuintla

## **Específicos**

1. Describir el funcionamiento de los elementos que conforman el módulo de generación eléctrica por turbina hidráulica
2. Describir el mantenimiento que se requiere en el módulo y sus elementos a utilizar para la generación de energía eléctrica
3. Determinar teóricamente la cantidad de energía a producirse de acuerdo a la captación de agua
4. Realizar estudio ambiental para la implementación de dicha tecnología sin causar daño a los recursos naturales ni a la población
5. Crear medidas de mitigación para mejorar el manejo de los desechos y evitar la contaminación del medio ambiente, a su vez, a la comunidad del área
6. Determinar el poder adquisitivo del fluido eléctrico en la población rural
7. Establecer un parámetro socioeconómico en relación con la oferta y la demanda del servicio hidroeléctrico de la población vulnerable

## **INTRODUCCIÓN**

El tratamiento de los aspectos sociales, económicos y de tecnologías energéticas, presenta alternativas como la Pequeña Central Hidroeléctrica debe apoyarse en un tratamiento metodológico, que asegure la confiabilidad en los resultados del estudio que fundamentarán la inversión, contemplando aspectos tales como:

Considerar la escala del requerimiento y el contexto socioeconómico donde se incorpora el esquema de abastecimiento del estudio; esto implica considerar al planeamiento energético como parte integral de la estrategia de desarrollo en una región determinada.

Analizar, en dicho contexto, los requerimientos de energía del poblador rural para determinar los niveles de consumo por usos, así como las fuentes utilizadas para abastecerlo.

Permitir el análisis y la comparación desde el punto de vista económico de todas las soluciones técnicas de abastecimiento disponible, tanto en escala micro como macroeconómica. De tal manera, ya sea que se trate de proyectos de decisión privada o de interés público, la persona responsable de tomar la decisión tendrá suficientes elementos de juicio para adoptar la solución que mejor convenga a sus objetivos.

En este marco, el recurso hídrico y la tecnología de las PCH será una alternativa, que deberá demostrar su competitividad frente a las diferentes tecnologías que, en la región, estén disponibles para abastecer los requerimientos de electricidad de la población.

Finalmente, se presenta un estudio ambiental para la implementación de dicha tecnología para no dañar los recursos naturales ni a la población, con el fin de mitigar los desechos.

# **1. EVALUACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS**

## **1.1. Destinos y destinatarios**

Algunos criterios útiles para determinar los requerimientos de energía eléctrica, que deberán ser satisfechos por una PCH son:

- Resultados del análisis socioeconómico de la región y de inserción del sector energético en el desarrollo regional, a los efectos de determinar:
- La demanda de energía eléctrica en las áreas rurales se caracteriza por su baja densidad y dispersión, resulta necesario evitar un tratamiento individual del uso potencial. Para eso es útil definir rangos de requerimientos de energía e incorporar las unidades de demanda identificadas. Lo que implica el tratamiento de las unidades agrupadas en módulos homogéneos puede ser por espacio de ingreso o calidad de vivienda.

Como resultado de esta evaluación deben identificarse para cada módulo homogéneo:

- La evolución esperada del consumo de energía eléctrica para el periodo de estudio.
- La curva de demanda de potencia eléctrica para los usuarios individuales o agrupados en un pequeño sistema en el año donde se realiza el estudio.
- La parte de sus excedentes económicos que los potenciales usuarios están dispuestos a aplicar al pago del servicio eléctrico.

### **1.1.1. En relación con los requerimientos de electricidad**

En cuanto a los usuarios de PCH, es posible que hayan permitido el acceso a la energía eléctrica, a sectores sociales que difícilmente pudieran hacer con la administración de sus propios recursos.

- Los usos de la energía eléctrica son básicamente domésticos y salvo que se provoque un impulso exógeno, no cabe esperar que los usuarios vayan a utilizar la electricidad para fines productivos en escala significativa.

- En el caso de estudio, el análisis del contexto socioeconómico, permitía inferir la ausencia de usos productivos de la electricidad en las unidades familiares rurales (viviendas). El tipo de producción agrícola (forestación, té, tabaco) no requiere procesamiento en la unidad de producción agrícola, sino que lo hace en establecimientos (secaderos, aserraderos, etcétera) que concentran producción de áreas geográficas importantes y que, usualmente, están abastecidos por redes.
- A nivel de las unidades domésticas rurales alimentadas por redes, los usos productivos detectados fueron bombeo de agua (riego de viveros) y mantenimiento de equipos y maquinaria agrícola (soldaduras, sierras eléctricas, esmeril, etcétera).
- La conclusión en relación con los requerimientos de energía eléctrica de lo pobladores rurales del área en estudio fue que: lo reciente de la electrificación rural, unido al bajo nivel económico de gran parte de las unidades domésticas y al escaso desarrollo de los usos productivos, hacen que las necesidades de electricidad de los pobladores del área se resuelvan en bajos niveles de consumo y usos, predominantemente, domésticos con un bajo factor de carga de las instalaciones dedicadas a abastecerlos.

### 1.1.2 En relación con la capacidad de pago

Al efectuar el estudio, la capacidad de pago se definió, como la parte de los excedentes monetarios que el productor está dispuesto a invertir para disponer de energía eléctrica, según el conjunto de prioridades productivas y de acuerdo con su modo de vida.

Se aplicó encuestas a la población de la finca no electrificada se midió, en forma cuantitativa, su capacidad de ahorro (excedente monetario total) y la forma cualitativa, su disposición a la electrificación (expresada en el nivel de interés).

**Tabla No. Los resultados excedentes monetarios**

Grado de interés	Excedentes Monetarios		Total
	Menos de US\$ 30 por mes	Más de US\$30 por mes	
Escaso	23%	26%	49%
Cierto	11%	40%	51%
Total de Casos	34%	66%	100%

Datos obtenidos a base de encuestas realizadas en la finca de estudio.

En conclusión la población de la finca que no cuenta con el servicio de energía eléctrica,

- El 49% de la población no electrificada, reúne condiciones básicas que combinan interés y/o excedentes económicos para incorporarse al plan de electrificación.
- La población que reúne estas condiciones aproximadamente es 40% dispone de excedentes pero requiere una motivación o, en su defecto, puede esperarse que se conecte al sistema luego de conocer, a través de sus vecinos, sobre los beneficios de la energía eléctrica. El 60% restante tiene interés en la electrificación y en su gran mayoría están dispuestos a contribuir con dinero o bien con trabajo personal o con productos agrícolas. Para la ejecución del proyecto de electrificación.

### **1.2 La demanda de capacidad en la PCH**

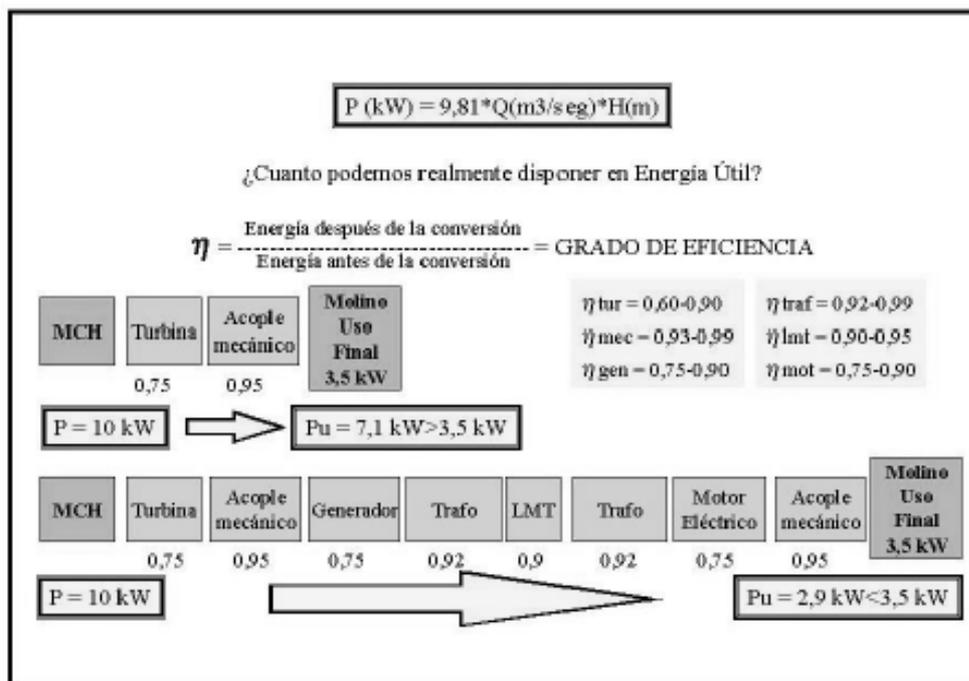
El sistema eléctrico se diseña en función de la capacidad (potencia) máxima que debe abastecer, la unidad generadora como para el sistema de transporte y distribución de la electricidad.

Los usuarios, expresan requerimientos de energía y de potencia útil, es decir, asociada a los usos finales de la electricidad domésticos o productivos.

En la cadena de producción de distribución o uso de la electricidad existen pérdidas que deben ser suministradas por el generador en forma adicional a los requerimientos de energía útil del usuario. En cadenas complejas, estas pérdidas pueden alcanzar un porcentaje significativo de capacidad en la utilidad de producción de energía y deben ser consideradas para determinar la demanda de potencia de una PCH.

Figura 1.

Suministro directo y uso final de cadena larga de conversión eléctrica



Otro aspecto que debe considerarse cuando la PCH atiende a un pequeño sistema aislado por redes, es el factor de simultaneidad. Este factor refleja el comportamiento del uso del equipamiento eléctrico donde la demanda máxima simultánea de todos los usuarios siempre es menor que la suma algebraica de la demanda de cada usuario individual.

De tal forma, el cálculo de la capacidad en bornes del generador debe partir de la sumatoria de la potencia máxima que requiere cada usuario, afectada por el factor de simultaneidad (demanda máxima del sistema) y con el agregado de todas las pérdidas que ocurren en los procesos de transformación, transporte y distribución de la electricidad.

## **2. EVALUACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO**

### **2.1. Las herramientas del planificador**

Un programa de abastecimiento de electricidad en áreas rurales, que incorpore fuentes de energía diversificadas, debe contar con un análisis territorial que califique la aptitud de las fuentes en las áreas involucradas en el programa.

La fuente hídrica, su capacidad se valora mediante indicadores de calidad de las cuencas que atraviesan la región, estos indicadores permitirán al planificador, determinar las zonas en que el recurso hídrico tiene un potencial adecuado para satisfacer los requerimientos eléctricos de la población local, de este modo, incluir esta fuente como alternativa de suministro de tales requerimientos.

Una vez seleccionadas las áreas hídricas, es necesario identificar los sitios aptos para el emplazamiento de la PCH, en cada uno de ellos, determinar la potencia y energía que puede obtenerse del mismo.

Es decir, que la evaluación del recurso hídrico, debe reconocerse de forma macro regional, para identificar la aptitud del recurso y seleccionar las áreas de interés para su aprovechamiento con fines hidroeléctricos, localizando los puntos de referencia para seleccionar y evaluar el potencial de distintos emplazamientos para PCH en los cursos de agua dentro de las áreas de interés identificadas.

### **2.2. Análisis regional e indicadores de calidad de cuenca**

La cuenca hídrica está alimentada por las lluvias. El comportamiento hidrológico estará entonces influenciado por la distribución, intensidad y duración de las precipitaciones y también por la forma en que el medio ambiente influye en la “administración” del recurso. La evaporación directa y la infiltración, la capacidad del suelo para retener el agua, las cubiertas vegetales, los procesos de transpiración y absorción de humedad afectan la forma en que el agua de lluvia discurre por la cuenca que la recibe.

La precipitación y la forma en que el medio ambiente determinan el comportamiento de los caudales de agua superficial concentrada en los ríos, acumulada desde las altas cuencas nacientes, hasta que se cierra el ciclo hidrológico cuando regresa al mar.

Para conocer el comportamiento de los caudales de una cuenca se hacen mediciones que registren la historia de la misma sobre un período (30 a 50 años); Aún así, modificaciones ambientales de carácter planetario como el calentamiento global o los cambios en las corrientes marinas y la deforestación de áreas boscosas, introducen importantes cambios en el comportamiento hidrológico de las cuencas, reduciendo la confiabilidad de las proyecciones basadas en los datos de las crónicas históricas.

Es probable que en muchas regiones no se cuente con registro de datos de aforo de todas las cuencas. Cuando la información de caudales es parcial, siempre contamos con registros de lluvias.

La correlación entre cuencas aforadas y cuencas sin registros, cuando sus características son similares, permite utilizar información de lluvias, junto con mediciones de campo limitadas en el tiempo, para extrapolar probables comportamientos de los caudales de las cuencas sin registro, a partir de la información de las cuencas aforadas.

El caudal específico de la cuenca (litros/seg/km<sup>2</sup>) medido como el aporte de caudal que hace cada unidad de superficie de cuenca es el vector que permite extrapolar datos desde cuencas aforadas a cuencas sin registro. En general, esta información está disponible en cartas topográficas, puede gestionarse en forma muy expeditiva, con las técnicas de relevamiento actuales. Hechas estas consideraciones de carácter general, pasamos ahora a describir los indicadores que permitirán evaluar el potencial hídrico de una región.

### **2.3. Potencial hidroeléctrico teórico bruto (P.H.T.B.)**

La potencia total de entrega por el caudal de agua al discurrir por un cauce natural, desde una cota superior a una inferior, admitiendo que no hay pérdida.

Se representa un potencial teóricamente disponible, pero prácticamente inalcanzable, no sólo por las pérdidas referidas, sino por la imposibilidad técnica de aprovecharlo, por la incidencia de diferentes causas (geológicas, económicas, sociales, ecológicas, etcétera). Esto constituye el índice que evalúa la magnitud hipotética de la potencia hidráulica de la cuenca.

La magnitud del P.H.T.B. de una subcuenca depende de los desniveles naturales existentes y de los caudales circulantes en el tramo analizado, en su cálculo intervendrán las superficies de aportes de las cuencas, las escorrentías específicas y los desniveles.

La potencia periódica que se desarrolla en una cuenca aguas arriba de una sección de control, resultaría de integrar los productos de caudal y desnivel que aportan las subáreas en que se divida la subcuenca y, luego, agregar todas las subcuencas que aportan sobre dicha sección de control.

Los efectos de ordenar el cálculo del P.H.T.B. de una cuenca, pueden utilizar la siguiente secuencia:

- Fraccionar la cuenca en subcuencas, de acuerdo con la configuración de: cursos tributarios, secundarios, terciarios, etcétera. Numerar subcuencas con nomenclatura relativa a la cuenca en estudio
- Calcular las áreas de las subcuencas determinadas
- Mediante cálculos o estimaciones, adoptar el caudal específico para cada subcuenca
- Para cada subcuenca, sumar todos los caudales que pasarán por la sección de control de la misma
- Calcular la diferencia de niveles entre la parte más alta y más baja del tramo del curso principal de cada subcuenca en estudio
- Proceder a efectuar el cálculo acumulativo de cada subcuenca avanzado desde nacientes hasta el final de la misma, determinando de esta forma el P.H.T.B. del total de la cuenca

#### **2.4. Densidad del P.H.T.B.**

El P.H.T.B. nos da un valor que no permite una clara visualización de la calidad de la cuenca a los fines de su explotación energética. Por el contrario, cuando referimos este potencial a la superficie de cuenca o a la longitud del cauce asociado al mismo, tenemos una idea de la forma en que se concentra en un área o en un tramo del arroyo.

Los indicadores específicos como la densidad superficial del P.H.T.B. (kW/km<sup>2</sup> de cuenca) y la densidad lineal del P.H.T.B. (kw/km de río) nos permiten una mejor apreciación de la oportunidad de encontrar emplazamiento apropiado para la hidrogenación.

## 2.5. Potencial hidroeléctrico técnico aprovechable (P.H.T.A.)

Como el P.H.T.B. representa una cifra independiente de la tecnología a utilizar, de los rendimientos a obtener, de la presencia de las obras o proyectos preexistentes, de las complicaciones geológicas o topográficas de los diferentes tramos, de las posibilidades de regulación mediante embalses, etcétera, y además supone que todo el caudal disponible se destina a la producción de energía hidroeléctrica, resulta mucho más interesante, con vistas a planificar el equipamiento eléctrico de una determinada región, analizar el denominado Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable (P.H.T.A.). Por definición, resulta el que realmente pudiera ponerse en servicio con factibilidad técnica, aunque una cierta porción de él pueda no ser económicamente interesante o conveniente, al momento de su evaluación particular.

**Tabla II. Evaluación particular**

DENSIDAD DEL P.H.T.B. (KW/km <sup>2</sup> )	P.H.T.A. COMO PORCENTAJE P.H.T.B.
10	00-25
50	00-30
100	05-35
150	10-40
200	15-45
250	20-50
300	25-55
350	30-60

Fuente: Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas año 2,006,

## **2.6. Preselección del lugar de abastecimiento en gabinete**

Se predetermina el área de interés, con bases en la información cartográfica disponible, deben localizarse puntos referenciales, a lo largo del río o arroyo, donde se observen puntos de interés, a partir del apilamiento de curvas de nivel que indiquen rápidos o saltos de agua en el curso.

Determinando secciones de control en esos puntos, pueden calcularse caudales medios midiendo en cartografía, las áreas de cuenca de aporte aguas arriba de la sección de control. Con los datos de caudal y desnivel localizado en cada lugar seleccionado, puede hacerse una primera estimación de la potencia continua disponible en los mismos.

Con base en este análisis se realiza una preselección de los emplazamientos que resultan de mayor interés para resolver el abastecimiento de la demanda localizada en el área.

### **2.6.1. Verificación y ajuste con estudios de campos.**

Los puntos localizados y preseleccionados en gabinete deben ser luego identificados y evaluados en campo. Si no se encuentran restricciones de importancia que imposibiliten la utilización de dicho punto de localización (situaciones geológicas, ambientales, afectación de actividades socioeconómicas, etcétera) se procede a realizar mediciones detalladas de caudal y desnivel.

#### **2.6.1.1. Evaluación del desnivel aprovechable**

Las medidas en campo de desnivel aprovechable deben evaluarse, en campo, la ubicación de la cámara de carga y de la sala de máquinas.

La cámara de carga puede estar junto a la toma de agua, sobre el río o bien en un punto alejado conectado a la toma de agua mediante un ducto cerrado o un canal abierto a nivel (en ambos casos sin presión).

La medición de desnivel se realizará desde el punto seleccionado para instalar la cámara de carga hasta el punto seleccionado para instalar la sala de máquinas, donde el agua será turbinada y devuelta a su curso natural.

Desde el nivel de la cámara de carga hasta el nivel de la sala de máquinas, se fraccionará la medición, colocando puntos intermedios de control en la forma que mejor se adapte a la topografía del terreno y a la longitud de la manguera utilizada.

Las medidas de desnivel deben realizarse apoyando el manómetro en el suelo y con el nivel de agua en el extremo superior controlado con una regla colocada en la vertical del punto.

#### **2.6.1.2. La curva de duración de caudal**

La curva de duración de caudales nos indica el comportamiento de los caudales a lo largo de un período anual y una serie de curvas anuales, nos permite visualizar el comportamiento de los caudales en años particulares como húmedos o secos.

Estos datos se tomarán conforme aforos y datos obtenidos en el INSIVUMEH respecto a la intensidad de lluvia cercanos al lugar.

#### **2.7. Ajuste de la oferta-demanda caudal y altura de diseño**

En la fase de planificación se asignará a los puntos referenciales seleccionados y la demanda que debe ser cubierta por cada uno de ellos.

La oferta de potencia y energía a suministrar por la PCH debe ajustarse a dicha demanda.

El caudal de diseño o de instalación, que se requiera, se determinará considerando los rendimientos de transporte del agua y de su conversión de energía hidráulica a energía eléctrica.

El valor conservativo del rendimiento para establecer el caudal de instalación es 50%. Lo que da por resultado:

$$Q(\text{m}^3/\text{seg}) = \frac{P \text{ (kw) (potencia máxima demandada)}}{5 \times H_u \text{ (m) (altura útil de diseño)}}$$

El valor de Caudal (Q) así calculado se ubica por debajo de los caudales mínimos (estación seca) del río, se acepta como valor del proyecto.

Si el caudal (Q) se ubica en la franja de excedencia del 80% al 100% del tiempo, deberá analizarse si puede mejorarse la altura de diseño reduciendo de ese modo el caudal (Q) necesario o si se aceptará brindar un servicio con restricciones en la estación seca o bien complementar el servicio con otras fuentes y distinta tecnología.

En el caso que el caudal (Q) requerido sea mayor del que se dispone en el río durante el 80% del tiempo, el servicio será con restricción o con respaldo de otras fuentes.

Se entiende que las restricciones pueden resolverse limitando los usos de la electricidad o sin limitar los usos pero con horarios del servicio reducidos a la disponibilidad del agua (incluyendo la que permita el almacenamiento mediante una pequeña obra de cierre para regulación diaria).

Los caudales mínimos disponibles para el proyecto pueden ser aún menores que los de la estación seca, por razones o normas ambientales aconsejan mantener valores asegurados de escurrimiento por el cauce natural e impiden la derivación del total del agua para la producción de energía.



### **3. TECNOLOGÍA DE CONVERSIÓN PARA PCH**

#### **3.1. Compromiso en el costo, calidad y sustentabilidad**

Antes de ingresar en el estudio y selección de tecnología y criterios de diseño que proponemos utilizar en los proyectos, es necesario:

- definir el compromiso entre costo y calidad del suministro eléctrico que los usuarios y la comunidad están dispuestos a aceptar
- considerar la relación entre la confiabilidad y mantener el sistema, asegurando la sustentabilidad del proyecto a largo plazo

En relación con los costos, la solución técnica, debe reducirlos a un abastecimiento permanente. Como las variaciones de tensión y frecuencia permitidas en estos pequeños sistemas, son menos rigurosos que para los sistemas eléctricos de alta concentración, la demanda teniendo alta calidad con tecnología sofisticada, con impacto en los costos tanto de inversión como de operación y mantenimiento

Por otra parte, los requerimientos eléctricos de la comunidad de este tipo de proyecto corresponden al uso de artefactos, equipos y al desarrollo de actividades que no necesitan altos estándares de calidad de servicio. El principal salto cualitativo que percibe esta comunidad, es la diferencia entre contar y no contar con electricidad.

En relación con la sustentabilidad, la localización de los proyectos en las áreas alejadas de los centros más desarrollados requiere de tecnologías sencillas que puedan atenderse localmente tanto en lo referido a operación, como a reparación o reposición de componentes y partes de equipos e instalaciones.

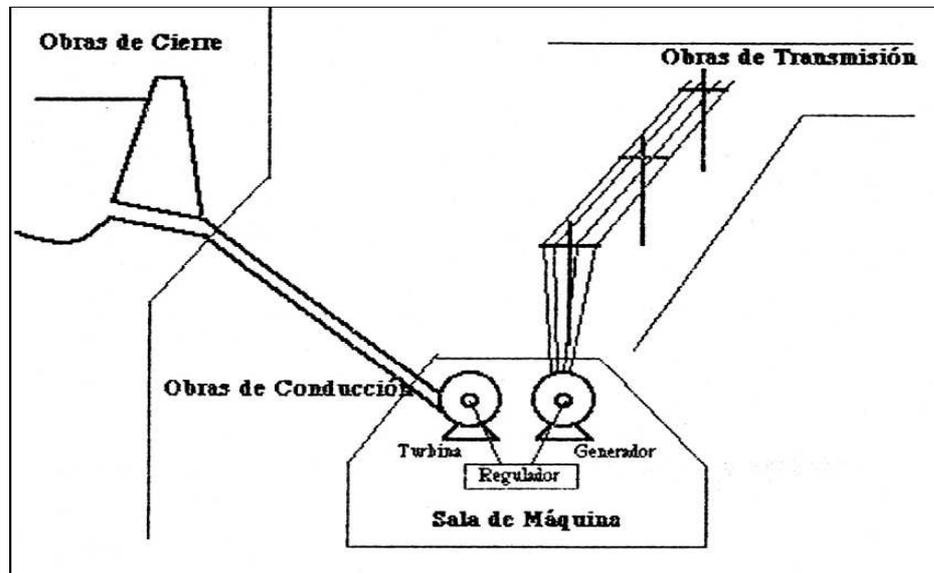
### 3.2. Descripción de los componentes tecnológicos de una PCH

En una PCH se pueden distinguir cuatro componentes principales:

- Obras de cierre
- Obras de conducción
- Sala de máquina
- Obras de transmisión

Figura 2

Partes principales de una pequeña central hidroeléctrica



#### 3.2.1. La obra de cierre y captación

Consiste en la construcción destinada a producir el cierre para almacenamiento de agua o la simple elevación del tirante para su derivación hasta la pequeña central, o simplemente una toma para captar una parte del caudal que circula por el río.

**Figura 3.**

### **Toma de captación del río**



### **3.2.2. La obra de conducción o de derivación**

Son las instalaciones que deben transportar los caudales desde las obras de captación hasta la turbina para su aprovechamiento energético. Pueden estar constituidas por tuberías cerradas solas o combinadas con canales a cielo abierto.

### **3.2.3. La Pequeña Central o Sala de máquinas**

Está constituida por el espacio y las estructuras en que se aloja el equipamiento hidroelectromecánico, y que consiste en una pequeña habitación, que por su ubicación próxima a los arroyos requiere ser planeada para afrontar los cambios en el nivel de restitución, provocados por las crecidas extraordinarias.

Incluye la totalidad del equipamiento y está formada por una micro turbina, regulador de velocidad, el generador, tablero de comandos y control.

**Figura 4**

**Micro turbina**



**Figura 5**

**Generador y tableros**



### **3.2.4 Las obras de distribución redes eléctricas**

Permiten el transporte de la energía eléctrica hasta los usuarios y que incluyen las estaciones de transformación y las líneas de media y baja tensión mono y trifásicas.

### **3.3. Características particulares de la tecnología de PCH**

Como se expuso, anteriormente, la utilización de PCH como tecnología de abastecimiento dentro de un programa de electrificación, incorpora algunos rasgos característicos que la diferencian de otros planes de construcción de obras públicas. Tales rasgos distintivos son:

- Las PCH tienen dos componentes particulares, turbinas y reguladores, que son los que deben repararse y nuevos suministros. La ingeniería utilizada en estos componentes, debe ser lo suficientemente sencilla como para permitir su construcción con las máquinas, equipos e instrumentos y con los niveles de calificación de mano de obra, con que se cuenta en regiones alejadas de los centros urbanos desarrollados. Se requiere garantizar condiciones preestablecidas de calidad en las prestaciones de tales componentes y utilizar criterios de estandarización que faciliten la rápida y sencilla reposición total o parcial de los mismos.
- Las obras de captación y conducción del agua hasta la sala de máquinas, siguen lineamientos convencionales, deben ser concebidas con criterios técnicos que, sin perder seguridad, reduzcan los costos de inversión y permitan tanto la integración de materiales locales como la participación de los futuros beneficiarios en su ejecución. Debe siempre recordarse que las PCH no son centrales grandes y, en consecuencia, no deben aplicarse a ellas técnicas de construcción.
- Las obras de distribución, deben adecuarse a los criterios de costos bajos con que se desarrolle el aprovechamiento, estableciendo estándares de calidad adecuados a los mismos. Para ello, es necesario revisar aquellas normas técnicas que privilegian la calidad antes que el costo y que suelen utilizarse en regiones más desarrolladas.

### **3.4. Obras de captación**

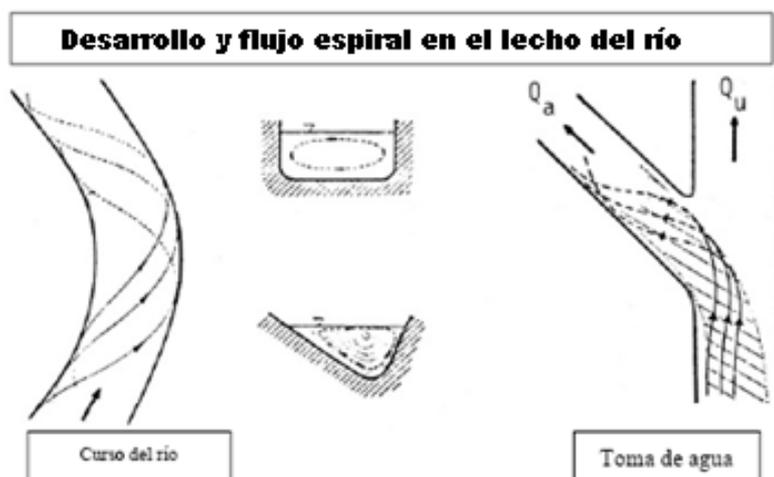
#### **3.4.1. Consideraciones generales**

La captación de agua del río debe considerar principios básicos asociados a la calidad del agua que se necesita para la pequeña 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.

La selección del lugar para ejecutar las obras de toma de agua requiere considerar el comportamiento de la carga de sólidos en suspensión en el flujo de agua. 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.

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.

**Figura 6**



Fuente: Tipos de Captación en el manual del Ingeniero 2,007

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 del mismo. De este modo, la porción de sólidos en el agua que se deriva será menor a la del río.

- Si el emplazamiento se encuentra en un tramo recto del arroyo conviene ejecutar una toma frontal y, en este caso, la proporción de sólidos en el agua que ingresa a la toma será la misma que la media del arroyo.

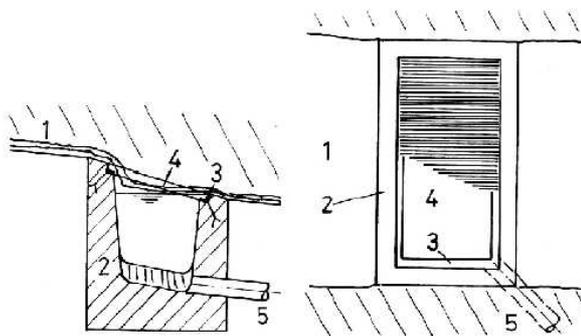
La seguridad debe garantizarse cuando se realizan obras de cierre en el curso del río. Además de observar especificaciones de materiales y técnicas constructivas que atiendan a la seguridad de las presas, debe prestarse especial atención a la evacuación de crecidas y a la protección de la erosión de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

### 3.4.2. Toma de agua sin obra de cierre

Se da cuando el caudal de instalación es inferior al mínimo caudal del río. Son obras muy sencillas realizadas en el curso del arroyo o sobre una de sus márgenes que permiten inundar una cámara de carga a través de una reja.

Figura 7

#### Toma del tipo tirolés para instalar en el lecho del río.



1. Lecho del río.
2. Cámara de captación (de hormigón o de mampostería de piedra). El piso es inclinado hacia el tubo de salida.
3. Marco metálico anclado al borde de la cámara.
4. Reja de planchuelas con cierre perimetral. La separación entre planchuelas es de 6 a 12 mm. La pendiente de la reja en la dirección del flujo es de 15° como mínimo.
5. Tubo de descarga a la cámara de carga y desarenado.

Fuente: Tipos de Captación en el manual del Ingeniero 2,007

**Figura 8**

**Toma de agua sin obra de cierre**



### **3.4.3 Tomas de agua con obras de cierre**

Quando el caudal de instalación es menor que los mínimos caudales de la estación seca, es necesario realizar un cierre del río. La ejecución de las centrales con cierre del río distribuye al igual que las centrales de mayor potencia dos grandes grupos.

**Figura 9**

**Toma de agua con obra de cierre**



### 3.4.3.1. Centrales de pasada

Aprovecha los caudales disponibles en las corrientes, desviándolos desde los cauces hasta la unidad generadora mediante sencillas instalaciones de sobre elevación de agua para su adecuada captación. Los caudales aprovechables corresponden a los de alta permanencia anual en el cauce (75 a 95% de permanencia en la Curva de Duración de Caudales) y, por lo tanto, son inferiores al Caudal Módulo o Medio en ese punto.

Los coeficientes relacionados con los caudal de instalación/caudal de módulo son inferiores a la unidad. Por esta razón, las obras de cierre deben permitir el paso de caudales excedentes.

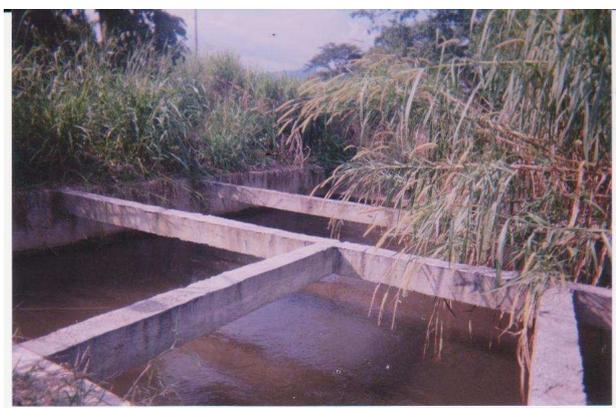
### 3.4.3.2. Centrales de regulación

La regulación diaria y cuyas instalaciones se dimensionan para resolver situaciones donde la potencia a proveer requiere mayores caudales que los habitualmente disponibles del río. Para este propósito requieren la conformación de un reservorio de acumulación de volúmenes líquidos para su utilización plena en los horarios de mayor consumo.

Esto se logra a expensas de una obra de cierre de mayor importancia relativa, que debe igualmente prever las estructuras de alivio necesarias para descargar los caudales de crecidas ordinarias y extraordinarias que superan la capacidad del reservorio. Para la regulación del tipo diaria se necesita calcular el volumen de masa líquida en reserva, el que a su vez, determina la altura de las obras de cierre, de acuerdo con la topografía del embalse.

**Figura 10**

### Centrales de regulación



### **3.4.3.3. Materialización de las obras de cierre (tipos y cuidados constructivos)**

#### **3.4.3.3.1 Obras de cierre de pantalla con contrafuertes**

Una pantalla inclinada, que oficia de cierre, puede ser de madera dura o con placas premoldeadas de hormigón armado, impermeabilizadas en toda la superficie con cuidado de no crear estanqueidad en la juntas.

La pantalla se asienta sobre los contrafuertes constituidos por placas triangulares de pared delgada construidas de hormigón armado, mampostería o bien por estructuras triangulares reticuladas de madera dura.

La concepción estructural del conjunto pantalla - contrafuerte constitutivos posibilita la auto estabilidad de la estructura tanto al vuelco como al desplazamiento. De forma que se evita utilizar el peso de la presa como elementos de estabilización, ya que se aprovecha el peso de la cuña de agua que se descarga sobre la plantilla.

El dimensionado de la fundación debe adecuarse a la característica del suelo y se ejecuta en forma corrida en toda la extensión del cierre.

En los extremos, la inserción de las obras de cierre en los márgenes del canal se ejecuta mediante estribos macizos de hormigón.

El vertedero es central y se conforma por un conjunto de canales cuyos contrafuertes y pantallas tiene una altura menos que en los laterales.

La descarga del fondo para eliminación de sedimentos y vaciado para reparación puede hacerse realizando completamente las placas o maderas de uno de los vasos.

La obra de toma se realiza como compacto independiente en el sitio que se juzgue necesario y consta de bloque de anclaje con la salida a tubería o a canal, la compuerta de control y la reja de protección.

### **3.4.3.3.2. Obras de cierre de terraplén**

La presa es un terraplén construido por compactación en capas de suelos locales. La compactación debe considerar las características de las tierras disponibles y en función de las mismas se adoptarán los medios mecánicos y los procedimientos constructivos y de control necesarios para que la tierra compactada alcance los niveles de estanqueidad y de resistencia mecánica que requiere el proyecto.

Los cierres se ejecutan preferentemente combinados con vertederos independientes de la presa, materializados con forma cilíndrica, aguas arriba del cierre. Estos vertederos operan como un embudo cuya cota superior está por debajo del nivel de coronamiento de la presa. Cuando la presa de terraplén se combina con vertederos independientes, su ejecución es continua y no presenta interfases del terraplén con otros materiales. De esta forma se incrementa la seguridad y, adicionalmente, puede utilizarse el coronamiento de la presa como camino vecinal (puente entre las márgenes).

Si la crecida es extraordinaria puede superar la capacidad de evacuación, una parte del coronamiento de la presa puede ejecutarse a un nivel inferior de manera que opere como vertedero fusible. Estos vertederos fusible se ejecutan sobre una de las márgenes y en caso de que el coronamiento se use como puente, se le da forma de badén para no impedir la circulación. Si ocurriera una crecida extraordinaria, mayor que la del diseño, los daños de erosión se concentrarían en la zona del fusible y el proceso de reparación sería mas rápido y económico. También puede ejecutarse el vertedero de tipo frontal macizo en uno de los laterales de la presa. Estos vertederos se ejecutan en hormigón ciclópeo de fragmentos de roca o bien con mampostería de piedra. La vinculación entre presa y vertedero está constituida por un muro de ala de gravedad que a su vez protege al terraplén de la acción de la corriente que circula por el vertedero. Este vertedero puede complementarse también con un vertedero fusible sobre el terraplén constituido sobre la margen opuesta.

La obra de toma como en el caso anterior, se ejecuta en forma independiente de la toma. Del mismo modo se ejecutan las obras para facilitar el vaciado del embalse (descargador de fondo).

Los ductos de evacuación de vertedero independiente, de la toma y del descargador de fondo se ejecutan con tubos de hormigón que atraviesan el cuerpo del terraplén. Debe prestarse

especial atención al control de la captación de la tierra alrededor de los tubos, ya que cualquier filtración, con el transcurso del tiempo se convierte en un grave daño a la presa.

#### **3.4.3.3.3. Obras de cierre de enrocado**

Se materializa en forma similar a la de terraplén pero utilizando fragmentos de piedra colocados por medios mecánicos. El enrocado se coloca en capas a manera de obtener una estructura resistente. Una solución equivalente se obtiene con el uso de gaviones, que son cestas de alambre tejido rellenas con piedras que facilitan su transporte y colocación en obra. La obra de enrocado resuelve bien los aspectos estructurales, pero es completamente permeable. Para lograr la estanqueidad, se ejecuta una pantalla impermeable sobre el talud aguas arriba del terraplén. Esta pantalla se realiza en hormigón y puede completarse con membranas que mantengan la estanqueidad aún cuando ocurran pequeños asentamientos en el cuerpo de la presa.

Si el vertedero se resuelve en forma frontal, se ejecuta sobre una de las márgenes, en hormigón o mampostería, con un muro de ala en el mismo material para la transmisión con el pedraplén. Toma y descargador se resuelven en forma similar a los dos anteriores.

#### **3.4.3.3.4. Obras de cierre de gravedad**

Consiste en un muro de gravedad continuo de hormigón o mampostería, el vertedero central se forma elevando los laterales del coronamiento de gravedad del muro, mediante sendas pantallas verticales que pueden ejecutarse en madera, hormigón premoldeado o mampostería. La toma y el descargador de fondo están en este caso integrados en la obra civil del muro de gravedad con sus respectivas compuertas.

### **3.5. Obras de conducción**

Las obras de conducción comienzan en la toma de agua construida sobre el río o el embalse y terminan en el ingreso del agua a la sala de máquinas.

En el caso más general están integradas por tres componentes que son:

- canales a cielo abierto o ductos cerrados a nivel
- una cámara de carga
- la tubería de presión

**Figura 11**

**Trabajo de zanjeado para los canales**



**Figura 12**

**Fundición y construcción de los canales**



La necesidad de reducir efecto que este componente de las obras, pueden sobre pasar los costos totales, por lo que se sugiere considerar lo siguiente:

- Estudiar cuidadosamente la localización del cierre y de la sala de máquinas, de modo de alcanzar la máxima altura neta con el menor costo. Tal solución puede lograrse trazando canales a cielo abierto por líneas de nivel, que son de bajo costo para ubicar una cámara de carga y la tubería de presión y los lugares de fuerte pendiente, reduciendo su longitud y, en consecuencia, su fuente de incidencia en los costos.

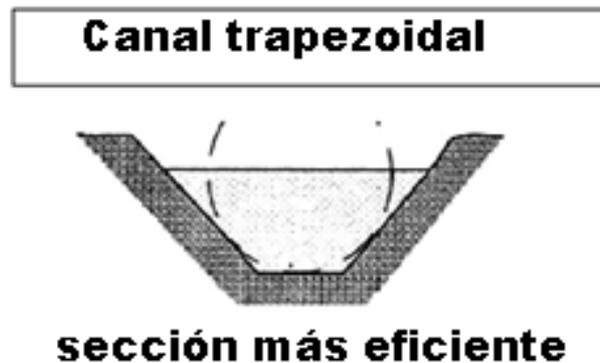
- Realizar el estudio técnico económico previo de los distintos tipos de tuberías disponible en el mercado local (acero, fibrocemento, PVC, plástico reforzado con fibra de vidrio, etcétera) con el objeto de preseleccionar el de mayor conveniencia para la región.

### 3.5.1. Canales

Los canales a cielo abierto constituyen una solución muy ventajosa para reducir costos de tubería. No obstante, deben estar adecuadamente diseñados para evitar mayores costos de mantenimiento.

El diseño del canal debe resolver un correcto escurrimiento del agua sin perder innecesariamente altura útil en el proyecto. Para ello, se recomienda ejecutar el canal con una pendiente de 1/1000. Los canales se construyen con sección trapezoidal. La solución que optimiza costos, es decir, que implica mínimo perímetro para igual caudal (o sección de flujo de agua) es aquella en que la base y las paredes laterales a 45° son tangentes a una circunferencia cuyo diámetro se ubica en la cota superior del agua del canal.

Figura 13



Fuente: Canales de eficiencia en el manual del Ingeniero 2,007

Desde el punto de vista constructivo si los suelos son permeables es necesario darles estanqueidad.

Ejecutada la excavación del canal, el método convencional de impermeabilizado es el recubrimiento de concreto. Si este recubrimiento se ejecuta con encofrado tradicional, el espesor necesario para el escurrimiento y compactación del hormigón alcanza a 4".

Los bastidores se colocan primero cada 10 m en tramos rectos (guías) y cada 5 m en los curvos, cuidando ajustar su nivel, escuadra, alineación y aplomado. Una vez fijados los bastidores guía se colocan bastidores intermedios manteniendo la alineación, el nivel ajustado a la pendiente del canal, la escuadra con el eje del canal y el plomo. Una vez presentados los bastidores se coloca en los costados una capa de cemento de 2" de espesor (igual al marco del bastidor) que se alisa mediante reglas apoyadas entre los bastidores (2.5 m de separación).

Terminados los lados se ejecuta el piso del canal, los bastidores se retiran después de 24 horas y en su lugar se ejecutan las juntas de expansión.

El curado se realiza manteniendo el canal inundado durante por lo menos 10 días.

Esta solución reduce en un 50% el costo de materiales y 30% en el costo de mano de obra.

En zonas con derrumbes o gran intrusión de ramas y hojas deben ejecutarse protecciones especiales con maderas o losas premoldeadas que tapen el canal. Del mismo modo deben preverse pasos para animales por sobre el canal. También pueden ejecutarse pantallas deflectoras hacia el vertedero de la cámara de carga, para desviar material en flotación que pueda llegar a la misma por el canal.

**Figura 14**

#### **Canal terminado**



### 3.5.2. Cámara de carga

Es necesario para aquietar el agua y permitir la decantación de arenas y partículas sólidas.

La cámara de carga debe tener dimensiones adecuadas para cumplir esta función y estará construida en hormigón o mampostería de piedra.

Tiene cuatro vías de movimiento de fluido. La primera es la acometida por donde ingresa el canal o ducto que trae el agua desde la toma. La segunda es un vertedero o tubo para eliminar los excedentes de caudal que no serán turbinados. La tercera es un descargador de fondo que permitirá el vaciado y limpieza de partículas sedimentadas. La cuarta es la alimentación mediante malla de filtrado o rejas a la tubería de presión que conduce el agua a la turbina.

**Figura 15**

**Cámara de carga**



### 3.5.3. Tuberías de presión

La selección de la tubería más conveniente requiere como primer paso determinar el diámetro de la misma y la presión de trabajo que deberá soportar.

Estos parámetros y las condiciones de suministro local de materiales y tubos prefabricados y sus costos determinarán la solución más conveniente. Para una misma potencia instalada, las combinaciones caudal / altura del aprovechamiento indican si se requiere mayor diámetro (Q) y menor presión de trabajo (H) o viceversa.

Conocido el caudal de instalación la sección de tubería dependerá de la velocidad máxima admisible para el agua que circula en su interior.

Esta velocidad máxima a su vez depende de la pérdida de altura que pueda admitir el proyecto.

Es deseable seleccionar velocidades que no introduzcan pérdidas mayores del 2% o 3%, no obstante, si el recurso hídrico es abundante se debe encontrar la solución que minimice costos, atendiendo a los diámetros comerciales de plaza, aunque las pérdidas sean mayores (5% - 10%).

Para un caudal de instalación determinado la velocidad que corresponde a un nivel de pérdidas prefijado depende a su vez del material (rugosidad) y del diámetro de la tubería.

**TABLA III**

**Relación entre velocidad y diámetro para un tubo de polietileno de alta densidad**

Tubos de polietileno (presión nominal 10at.)

Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Velocidad del agua (m/s)	Caudal Q (lt/s)	Potencia para altura neta 100 m (kW)
32	26.2	0.6	0.3	0.2
40	32.6	0.7	0.6	0.4
50	40.8	0.8	1.0	0.7
63	51.4	0.9	1.8	1.3
75	61.4	1.0	3.0	2.1
90	73.6	1.2	5.1	3.6
110	90.0	1.4	8.9	6.2
125	102.2	1.5	12.3	8.6
140	114.6	1.6	16.5	12
160	130.8	1.8	24	17
180	147.2	2.0	34	24
200	163.6	2.1	44	31
225	184.0	2.3	61	43
250	204.6	2.4	79	55

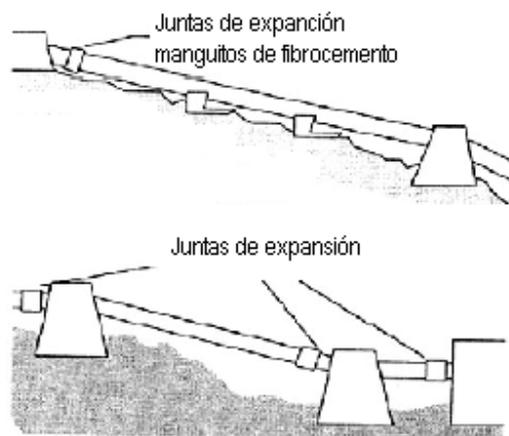
Fuente: Tipos de tubería en el manual del Ingeniero 2,007

El uso de tuberías plásticas se recomienda cuando los diámetros son inferiores a 300 mm. Requieren protección a la acción de la radiación ultravioleta.

Las tuberías de plástico se adaptarán muy bien a las variaciones del terreno, se colocan enterradas o apoyadas directamente sobre la superficie y cubiertas con tierra.

Tuberías de acero permite manejar un rango muy amplio de soluciones estructurales. En general se construyen localmente utilizando chapas, unidas con soldadura helicoidal. En el trazado de este tipo de tubería deben evitarse curvas y codos que obliguen a incrementar los bloques de apoyo y la juntas de dilatación. Los bloques de apoyo y anclaje deben ejecutarse con separaciones acorde a la topografía del terreno y el análisis estructural del tubo.

**Figura 16**                      **Diseño de tubería de presión**



Fuente: Tipos de juntas de tubería en el manual del Ingeniero 2,007

El diseño de la tubería de presión debe considerar eventuales sobre presiones por golpe de ariete.

Estas sobre presiones se originan por el cambio brusco de energía cinética a potencial que se produce cuando se cierra bruscamente la circulación de agua de la tubería (cierre intempestivo del regulador de caudal de la tubería). Esta situación genera una onda de presión que viaja aguas arriba a la velocidad del sonido y que puede, en situaciones extremas, ser varias veces superior a la presión de diseño.

En el caso de las turbinas, los dispositivos de control que evitan los cierres instantáneos mantienen la sobre presión en valores que no superan el 50% o 100% de la presión del diseño. La onda de sobre presión es disipada mediante chimeneas de equilibrio o en la misma cámara de carga.

**Figura 17**

**Tubería a Presión**



### **3.6. La pequeña central**

Está constituida por un sala de dimensiones reducidas, construida en mampostería, en donde se aloja el equipamiento que realiza las conversiones de energía hidráulica a mecánica y de mecánica a eléctrica.

El producto “energía eléctrica” resultante del proceso de conversión, tiene requisitos de calidad técnica que deben ser satisfechos. Tales requisitos se expresan en valores de tensión y de frecuencia que deben ser mantenidos dentro de un rango de tolerancia admitido.

Es además conocido que este producto (energía eléctrica) debe entregarse en forma instantánea al usuario o consumidor y que éste varía su demanda casi en forma permanente a lo largo del tiempo.

Por su parte, la energía hidráulica que ingresa por la tubería de presión a la sala de máquina, lo hace en forma de energía cinética del agua y las cantidades de energía puestas en juego (oferta hidráulica) dependen del caudal y de la altura de la carga. Esta energía cinética del agua se convierte en energía mecánica en el eje de una turbina. La energía mecánica es transferida a un generador eléctrico que, para mantener las condiciones de calidad exigidos al producto eléctrico, debe rotar a velocidad constante.

Para producir esta transferencia de energía es necesario además de la turbina y el generador, agregar dispositivos de conversión de velocidad de rotación entre el eje de la turbina y el del generador, y un sistema de regulación para adaptar la potencia hidráulica que se entrega con la potencia eléctrica que se demanda.

El equipamiento electromecánico constituido por turbina, generador, conversor de velocidad y sistema de regulación, se complementa con la instalación eléctrica de salida de la sala de máquina y un tablero de control con registros de tensión, frecuencia y energía suministrada a la red.

La disposición del equipamiento puede hacerse en una sola planta o en dos plantas.

En este segundo caso, se trata de instalaciones donde la sala de máquinas (y el tipo de turbina utilizada) admite quedar expuesta a inundaciones durante las máximas crecidas, en este caso, el equipamiento eléctrico se instala en la planta alta y la turbina (para aprovechar el máximo desnivel) queda en la planta baja.

Si bien la obra civil de cierre de la sala de máquinas es muy sencilla, debe prestarse adecuada atención al pozo de descarga del agua de la turbina y al dimensionarse la ejecución de las fundaciones que aseguran la estabilidad de la sala durante las máximas crecidas.

### **3.6.1. Conversión hidromecánica**

La masa de agua que es conducida desde la altura de carga de la central, transfiere su energía cinética a energía mecánica de rotación en la turbina.

Desde la rueda hidráulica, utilizada por los romanos y los griegos para moler trigo en la antigüedad, hasta hoy, diversas máquinas han sido desarrolladas para aprovechar la energía del agua.

Existe una variedad de diseños de turbinas cuya distinción principal es la forma en que se adaptan a la condición del caudal y altura disponibles en el aprovechamiento y el rendimiento o eficiencia con que realizan la conversión energética.

El concepto de adaptación de las diferentes máquinas a las condiciones de caudal - altura está asociado a la velocidad de rotación que consiguen alcanzar para su mejor rendimiento bajo una dada combinación caudal – altura y al tamaño y costo de máquinas con que resuelven la transferencia de potencia puesta en juego en forma eficiente.

En el campo de potencias de máquinas utilizadas desde las pequeñas hasta las grandes centrales (0.3 MW a 300 MW por máquina) las tecnologías más utilizadas son las Pelton, Francis y Kaplan. Las turbinas Pelton operan en la franja de bajos caudales y grandes caídas, grandes caudales y pequeñas caídas operan las turbinas tipo Kaplan; En tanto que, en una amplia gama de combinaciones intermedias en caudal - altura de caída, operan las turbinas Francis.

A medida que aumenta el módulo de potencia de las máquinas, la sofisticación tecnológica tanto en diseño como en fabricación es creciente. Esta inversión tecnológica está orientada a conseguir los máximos rendimientos de las máquinas tanto a plena carga como a cargas parciales, así como a garantizar la máxima disponibilidad de las mismas durante su vida útil.

Las turbinas para PCH, deben mantenerse dentro de rendimientos adecuados, pero mientras las turbinas de grandes centrales operan con rendimientos del orden del 95%, las que equipan PCH lo hacen con rendimientos entre 75 al 80%. Esto obedece a dos causas principales:

1. El diseño y los métodos de fabricación para las turbinas de PCH debe adaptarse a la tecnoestructura de la región donde los proyectos se implantan.
2. Los costos incrementales de mejoras crecientes de la tecnología, no pueden ser absorbidos por los beneficios incrementales, en proyecto de pequeña escala y bajo nivel de difusión (no cuentan ni con economías de escala ni con de serie).

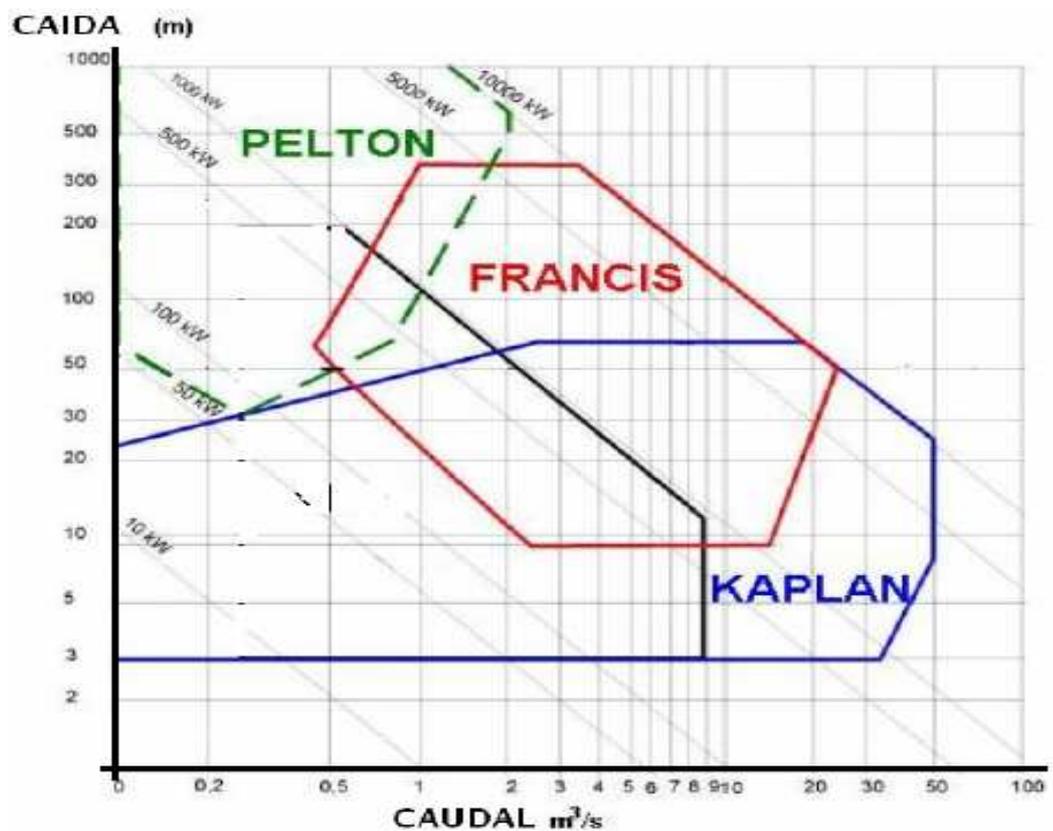
Las turbinas Pelton cubren el rango de grandes alturas de caída (50 a 500 metros).

En el otro extremo las turbinas tipo hélice, resuelven bien el aprovechamiento de pequeños desniveles (menos de 10 metros de caída).

Cubriendo una amplia combinación de valores de caudal – altura de los aprovechamiento se ubica la turbina Michell – Banki que reúne además otras ventajas comparativas, tales como: rendimiento más alto tanto a cargas parciales como a plena carga, mayor sencillez constructiva y menor costo por unidad de potencia instalada. Estas turbinas permiten aprovechar saltos entre 3 metros y 80 metros de desnivel en forma muy competitiva frente a las otras tecnologías.

Figura 18

Etapa de selección de turbina con respecto a su altura de caída o su caudal de captación



Fuente: Ministerio de Energía y Minas

### 3.6.1.1. La turbina Pelton

Esta turbina constituye la expresión actual de la rueda hidráulica donde las palas han sido reemplazadas por cucharas que reciben el impacto de un chorro de agua de alta velocidad que se proyecta desde un inyector.

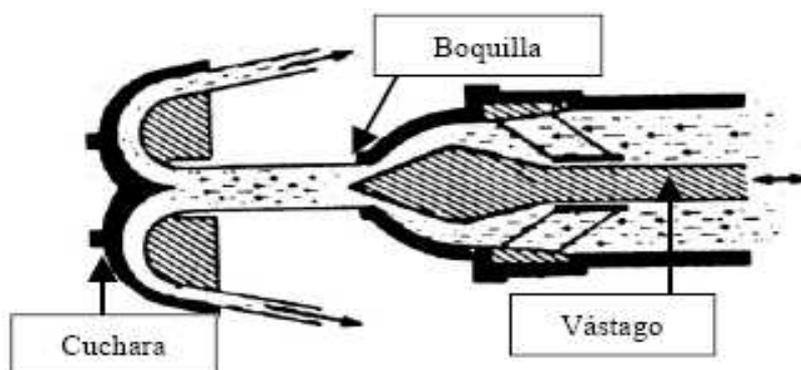
En estas turbinas, de chorro libre, la conversión de la energía cinética a mecánica, se realiza a presión atmosférica y sólo se modifica el vector de velocidad del agua. Es una turbina de "impulso" donde la variación de cantidad de movimiento del agua en las cucharas provoca el impulso de rotación (par motor o torque) de la rueda. Todo el proceso de conversión se realiza a presión atmosférica.

Los componentes tecnológicos de las turbinas son básicamente:

- Inyector
- Deflector
- Cucharas
- Rotor
- Carcaza

Figura 19

El inyector y la forma en que proyecta el chorro sobre las cucharas



El inyector es un tubo de pequeño diámetro que recibe el agua de la tubería de presión. Dentro del tubo se dispone un vástago móvil que, operado externamente, regula el caudal que se inyecta mediante una aguja en su extremo y una boquilla en el extremo del tubo que lo contiene.

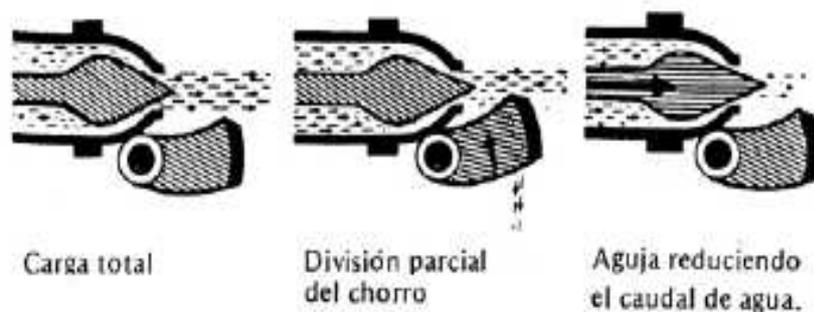
La operación del inyector es, generalmente, automática comandada por el sistema de regulación de la PCH. El diseño del conjunto aguja – boquilla se ejecuta atendiendo a minimizar las pérdidas, lo que implica acelerar el chorro en el menor recorrido posible. Este tramo donde se produce el estrangulamiento entre aguja y boquilla debe estar libre de imperfecciones superficiales para no introducir perturbaciones en el flujo del agua.

El deflector es un dispositivo sencillo manejado por el sistema de regulación de la máquina que deriva el chorro en forma parcial o total para reducir o suprimir el impacto sobre las cucharas ya sea con fines de regulación ante variaciones importantes de la carga o de parada de la máquina ante salida intempestiva de la carga.

En ambos casos, los deflectores actúan en forma rápida, permitiendo que luego el caudal se ajuste por el sistema de boquilla – aguja evitando producir efectos de golpe de ariete en la tubería de presión.

**Figura 20**

**Sistema de boquilla**



La cuchara tiene una geometría doble y simétrica de manera que el chorro incide en el eje de simetría y se separa en dos partes iguales descargando el agua por los laterales, entre el rotor y la carcasa hacia la boca de descarga.

Las dimensiones de la cucharas se adoptan en proporción al diámetro y del diámetro de chorro. El número de cucharas es función de dicho diámetro de rotor adoptado. La secuencia de cálculos para elegir la geometría más conveniente.

La fabricación de cucharas requiere del conocimiento y medios de ejecutar piezas fundidas. Las cucharas pueden realizarse en fundición de hierro o de bronce. Los moldes de fundición pueden prepararse en base a cucharas existentes. La calidad del diseño y la terminación superficial de las cucharas son de significativa importancia para el rendimiento de la turbina. Ésta es la mayor restricción de las turbinas Pelton para su incorporación en programas que requieren del soporte técnico local para su implantación y sostenimiento.

Las cucharas se fijan en la periferia del disco o rotor cuyo radio se establece en función de la velocidad periférica que corresponde al mejor rendimiento para una dada velocidad de chorro (generalmente la velocidad tangencial es 50% de la velocidad del chorro).

La forma de fijación de las cucharas al disco del rotor es mediante bulones.

El rotor tiene el diámetro mínimo que permita colocar el suficiente número de cucharas para que el chorro de agua enfrente siempre una cuchara para convertir su energía sin pérdidas que disminuyan el rendimiento. A su vez, cuanto mayor es el tamaño de la cuchara (función del diámetro del chorro) se requiere mayor perímetro del rotor para instalarlas. Cuando el caudal es grande es conveniente dividirlo a través de 2 o más inyectores para reducir el diámetro del chorro y manejar ese caudal con rotores de menor tamaño del que resultaría con un único inyector.

El rotor tiene un árbol central pasante que transmite la potencia fuera de la máquina al acoplamiento con el generador en forma directa o a través del variador de velocidad. El árbol de transmisión apoya en rodamientos instalados en el exterior de la carcaza. En general, se utilizan rodamientos de auto alineación con doble hilera de bolas. Las cajas de rodamientos deben colocar separadas de la carcaza, debe instalarse sellos hidráulicos adecuados entre el árbol y la carcaza.

La forma y el tamaño de la carcaza debe ser tal que permita la evacuación del agua de la turbina sin interferir con el rotor ni con el chorro de agua de los inyectores. Para la turbina de eje horizontal, el ancho de la carcaza debe ser como mínimo 4 veces en ancho de las cucharas.

### **3.7. Parámetros del diseño**

Los parámetros de diseño que se utilizan para seleccionar las características geométricas básicas del rodete de una turbina Pelton son: el rendimiento y los números de velocidad y caudal. Para una configuración geométrica determinada, estos parámetros deben definirse mediante ensayos en el laboratorio de hidráulica.

Q: caudal de diseño

H: altura neta del diseño

De: diámetro de rotor

B: ancho de rotor

La velocidad óptima de rotación del rodete viene dada por:

$$n = n_{11} \times \frac{H^{1/2}}{D_e}$$

Donde  $n_{11}$  = parámetro de velocidad

El caudal de diseño de la máquina queda vinculado a las principales magnitudes geométricas de la misma a través del parámetro de caudal, como sigue:

$$Q = Q_{B11} \times B \times D_e \times H^{1/2} \text{ Donde } Q_{B11} = \text{parámetro caudal}$$

La potencia del eje de la máquina será función del rendimiento que se obtenga con el diseño utilizado y estará expresada por:

$$P_e \text{ (kW)} = 9.807 \times \eta \times Q \text{ (m}^3\text{/s)} \times H \text{ (m)} \text{ Donde } \eta = \text{rendimiento}$$

Como referencia indicamos a continuación los valores que corresponden a los parámetros de diseño de la turbina de álabe regulador desarrollada en capacidad conforme el trabajo realizado.

$$n_{11} = 39,7$$

$$Q_{B11} = 0,917$$

$$\eta = 0,7$$

### **3.7.1. Características constructivas**

Como se desprende de la descripción general de la máquina, el diseño de su rodete es muy sencillo y sólo la geometría del regulador de caudal adquiere algo de complejidad en el modelo de álabe. Por tal motivo, y para su construcción, no se requiere ni personal altamente calificado ni equipamiento sofisticado pudiendo construirse y repararse en pequeños talleres metal mecánicos, del tipo de los que brindan asistencia a las colonias agrícolas.

Naturalmente, una construcción defectuosa ha de implicar una reducción en el rendimiento y en la confiabilidad de las máquinas. Por lo tanto, se requiere que la difusión del uso de las turbinas sea acompañada de un programa de desarrollo de proveedores, de un sistema de garantía de calidad y de la adopción de una serie estandarizada de máquinas.

### **3.7.2. La turbina axial**

Si bien la turbina axial más difundida es la de tipo Kaplan, nos referiremos a diseños menos sofisticados de máquina hidráulica cuyo flujo sigue la dirección axial del eje del rotor, pero cuya tecnología constructiva es más sencilla. Como es conocido, las máquinas de tipo Kaplan, tienen diseños de álabes tridimensionales con mecanismos que permiten regular su paso en forma variable. También cuentan con un difusor que permite regular el ingreso del caudal al motor. Estas condiciones de diseño permiten obtener altos rendimientos para las máquinas funcionando tanto a su potencia de diseño como a cargas parciales.

En el caso de las PCH nos referimos a turbinas axiales de diseño mucho más simplificado donde, primará el criterio de sencillez y economía constructiva, antes de que el de eficiencia operativa.

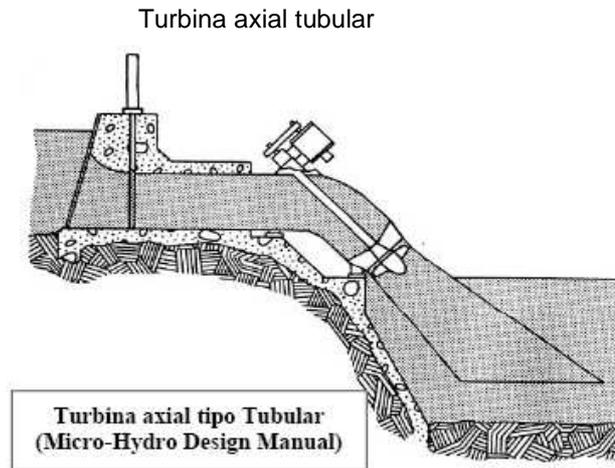
Por tratarse de máquinas que resuelven aprovechamiento de bajo desnivel o grandes alturas, su instalación se encuentra muy próxima a la toma de agua.

La máquina se instala en el interior del ducto que conduce el agua desde la toma a la descarga. Este tubo tiene una primera parte con presión positiva desde la altura de carga hasta el rotor y una segunda parte con presión negativa (succión) desde el rotor hasta la descarga.

Las configuraciones del diseño más difundidas corresponden a tres tipos:

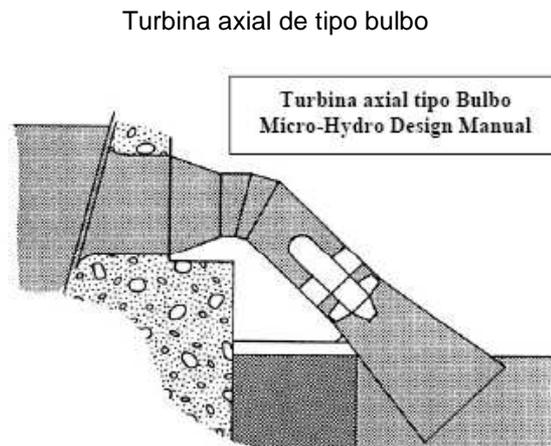
a) La turbina axial tubular en la que el eje del rotor se continúa pasando a través del ducto de agua para accionarse en el generador que se encuentra fuera del mismo. En este modelo el ducto debe añadirse en forma acodada para permitir la salida del eje.

**Figura 21**



b) La turbina axial de tipo bulbo, que incluye el generador en un bulbo sellado hidráulicamente dentro del flujo de agua, evitando de este modo, tanto la perforación de las paredes del ducto como su acodamiento de los espacios y los soportes para instalar el generador en el exterior.

**Figura 22**

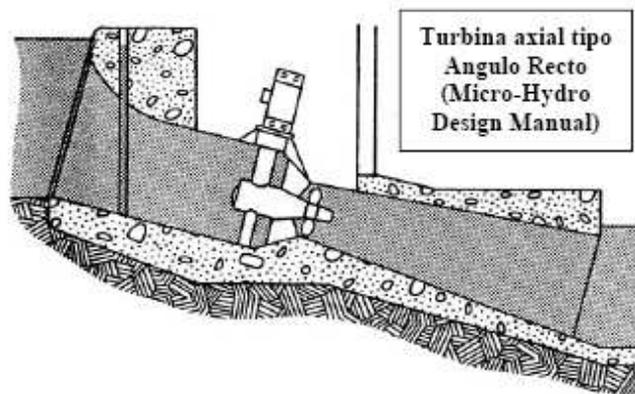


c) La turbina tubular que constituye una variante del tipo (a) en la que el generador, que se instala fuera del ducto recibe fuerza motriz mediante un eje que se encuentra en ángulo recto con el eje del rotor de la turbina.

De tal forma, dentro del fijo de agua queda un bulbo sellado con el sistema mecánico de piñón y corona y la disposición del generador alineada verticalmente con el mismo, resultando un diseño general más compacto y de menores dimensiones.

**Figura 23**

**Turbina axial de tipo ángulo recto**



En todos los casos, la turbina realiza la conversión hidromecánica en un rotor que tiene entre tres a seis álabes. El agua es conducida hacia los álabes a través de álabes guía que se encuentran en posición inclinada que dan al flujo de agua orientación helicoidal, de modo que, a la velocidad de rotación nominal del rotor el agua ingrese a los álabes en forma tangencial.

El agua entrega su energía a los álabes por reducción de presión entre el ingreso y la salida de los mismos. La velocidad de rotación de estas máquinas, aún con pequeñas alturas, es alta y su nivel depende del diámetro del rotor, es decir del caudal de diseño (diámetro del ducto). A medida que aumenta el diámetro del rotor disminuye la velocidad de rotación, para la misma altura de diseño, sin embargo, para el rango de caudales asociados a pequeñas potencias (0.5-5 kW) se obtienen velocidades que permiten el acople directo al generador o a través de cajas multiplicadoras de baja relación de velocidades.

La regulación de la máquina conviene realizarla mediante cargas balastro en el sistema eléctrico, operando con caudal constante y mantener potencia constante en el eje de la máquina. Si se requiere realizar regulación por variación de caudal, ésta se implementa ejecutando los álabes guías en configuración móvil gobernados por un dispositivo de regulación accionado desde el exterior de la máquina. No obstante debe destacarse que esta solución presenta una importante

caída de rendimiento de la máquina a cargas parciales. También, a expensas de fuertes pérdidas de rendimiento a cargas parciales, el caudal debe regularse mediante válvulas en el ducto de alimentación a la turbina.

Por ser máquinas de alta velocidad de rotación son muy sensibles a los efectos del embalse provocado por la pérdida de carga. Para evitar esta situación, se operan válvulas de cierre del ingreso del agua a la turbina que actúan en forma automática.

Las altas velocidades de rotación sumadas a la presencia de presiones negativas a la salida del rodete (succión) pueden originar cavitación, si no se atiende a una correcta selección de los parámetros de diseño y a la reducción de la altura de succión al mínimo compatible con el emplazamiento de la máquina.

En el aspecto constructivo, para facilitar la fabricación local y la reducción de costos se efectúan los álabes en chapa de acero.

No obstante, la mayor complejidad de diseño y los bajos rendimientos a cargas parciales, son un fuerte contrapeso de la principal ventaja de estas máquinas que es su buen comportamiento de la velocidad para bajas alturas de carga. Por tal razón, las turbinas Banki, aunque más lentas son preferidas para PCH de baja caída.

### **3.7.3. Generación de electricidad**

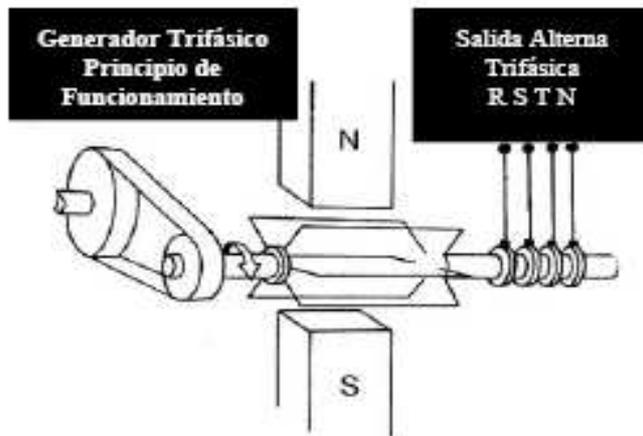
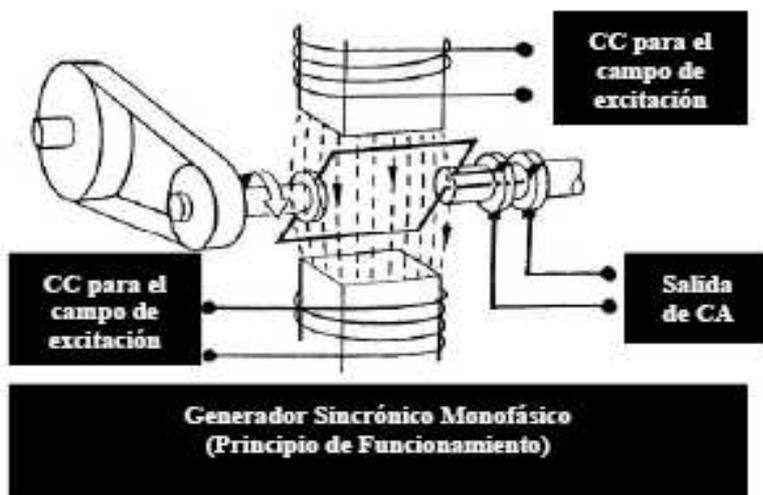
El equipamiento de generación y su dimensionamiento está asociado a las características de la demanda que debe satisfacer la PCH. Una primera opción deberá definir si los usuarios serán abastecidos mediante la carga y distribución de baterías o mediante una pequeña red de distribución local. En el primer caso, será más conveniente instalar una unidad de generación de corriente continua y, en el segundo caso, una unidad de generación de corriente alternativa.

Sólo en el improbable caso en que pueda desarrollarse un sistema de distribución en el entorno de no más de 1 km desde la PCH, podría utilizarse una alimentación directa.

El principio fundamental de la actuación de un campo magnético variable atravesando espira de material conductor, que da origen a la corriente alterna, es el que permite tanto el diseño de las máquinas generadoras como el de dispositivos de transformación de la tensión (transformadores de potencia) a la que se transmite la carga. Ésta es la razón básica del desarrollo de los sistemas de corriente alternativa para el transporte y distribución de electricidad.

Figura 24

**Generación de corriente alterna**



Fuente: generación de corriente alterna electricidad básica

La generación de corriente alterna puede ser monofásica o trifásica.

El uso de corriente alterna trifásica comienza a ser conveniente cuando la escala de la demanda es alta y existen usos productivos que sólo pueden ser resueltos con motores trifásicos (potencias mayores a 5 kW). Es condición básica de conveniencia que se mantenga el sistema con las cargas equilibradas en tres fases.

La disposición será monofásica o sea trifásica, dependerá entonces de la escala del requerimiento y del tipo de usos de la electricidad que serán satisfechos.

**Tabla IV**  
**Relaciones para casos básicos generales.**

SISTEMA DE GENERACIÓN	ESCALA DE RENDIMIENTO	USO
Corriente Continua Carga de Baterías	Menor de 5 kW	Iluminación Comunicaciones
Corriente Continua Carga de Baterías Inversores en la Demanda	Menor de 5 kW	Iluminación Comunicaciones Computación Conservación de alimentos
Corriente Alterna Monofásica Rectificador para carga de Baterías Inversores de la Demanda	Menor de 5 kW	Iluminación Comunicaciones Computación Conservación de alimentos
Corriente Alterna Monofásica	Menor de 10 kW	Iluminación Comunicaciones Computación Conservación de alimentos Pequeños motores Monofásicos (domésticos y productivos)
Corriente Alterna Trifásica	Menor de 10 kW	Iluminación Comunicaciones Computación Conservación de alimentos motores Trifásicos ( productivos)

Corriente alterna Trifásica de más 10kW mas motores trifásicos (usos productivos) Habrá sin duda situaciones particulares que amplíen los rangos de requerimiento o los usos preferentes que se asocian con cada sistema de generación, pero los valores indicados son los que otorgan la mejor competitividad y condiciones operativas a los sistemas de generación descriptos.

### **3.7.3.1. Carga de baterías**

La carga de baterías puede ser la única y excluyente función de la PCH o puede integrarse como un suministro más dentro del conjunto de cargas que serán abastecidos por la PCH. En este último caso, el cargador de batería puede estar instalado en la misma PCH o en cualquier punto de la red de distribución que ésta alimenta.

Si a la turbina se le acopla un generador del tipo de los utilizados en los vehículos de transporte pueden cargarse directamente las baterías ya que estos generadores tienen un regulador de voltaje incorporado. Como desventajas, estos equipos son de baja eficiencia y requieren multiplicador de velocidad ya que operan con un número de vueltas elevado (2.000 rpm).

En general, es conveniente trabajar con generación de corriente alterna en 220V y los dispositivos de transformación y rectificación a c.c. con que cuentan los equipos de carga de batería.

La tensión de trabajo de cargado de baterías es algo superior a la tensión de la batería. Así para una batería de 12V el cargador opera con tensiones de 15 V y 16V.

Los cargadores deben contar con dispositivos antidescarga (diodos) en línea con cada batería para evitar la transferencia de energía entre baterías.

A los efectos del cálculo de pérdidas, puede considerarse un rendimiento promedio de del proceso de carga de batería del 75%. Aunque son mayor costo inicial que las baterías de automóviles, se recomienda el uso de las baterías que admiten descarga profunda ya que reducen la frecuencia de recarga y tienen mayor vida útil.

### **3.7.3.2. Generación alterna**

La generación alterna y transmisión de la energía eléctrica mediante sistemas de corriente alternativa involucra la presencia conjunta de energía y potencia activa produciendo un trabajo y, éste a su vez, generando energía y potencia reactiva que circula dentro del sistema eléctrico pero que no sirve en términos de energía útil.

La energía y potencia reactiva está asociada a la presencia de campos eléctricos expresados en términos del parámetro de capacidad (C) y a la presencia de campos magnéticos expresados en términos del parámetro inductancia (L).

A su vez, la energía activa se aplica tanto al consumo de energía útil de los usos finales como para atender a pérdidas de joule del sistema y su presencia se expresa en términos del parámetro resistencia (R).

La generación alterna se origina al obtener tensión (V) en los bornes de una bobina con rotación relativa respecto de un campo magnético. De acuerdo a la velocidad de rotación y al número de los polos magnéticos del generador, resultando una determinada frecuencia de tensión generada en los bornes del generador. Esta frecuencia está estandarizada en 50 ciclos por segundo (Hz). De tal forma, un generador deberá rotar, según la cantidad de polos con que esté construido, a una velocidad fija y determinada, para producir energía eléctrica en la frecuencia de 50 ciclos por segundo.

**Figura 25**

**Regulador de tipo Oleomecánico**



Los generadores de pequeñas potencias más difundidos en PCH son los de 4 polos que rotan a 1500 r.p.m. y los de 6 polos que rotan a 1000 r.p.m. Si la velocidad de rotación de la turbina a rendimiento óptimo no coincide con alguna de las velocidades estándar de los generadores, ambas se adaptan mediante el multiplicador de velocidad.

En cada ciclo, la tensión entre fase y neutro varía con una forma de onda sinusoidal. Las tensiones se identifican por su valor eficaz, por ejemplo en baja tensión 220 V.

En el caso, de generadores trifásicos, donde las bobinas están físicamente separadas en ángulos de  $120^\circ$  y las ondas desplazadas unas de otras en la misma magnitud. La diferencia de tensión entre fases (vector que une los extremos de dos vectores de 220V separados  $120^\circ$ ) es, en este caso, de 380 V. Cuando entre el borne del generador se conecta una carga, circulará una corriente (I).

Las características de la carga pueden ser: resistiva pura, capacitiva pura, inductiva pura o una combinación de las mismas. Cuando la carga es una combinación de resistencia y reactancia, la denominamos impedancia (Z).

En la práctica, tanto las cargas (lámparas fluorescentes, motores, compresores, etcétera), como los propios sistemas de transformación, transporte y distribución, introducen impedancias reactivas, es decir, que en el sistema se genera y transporta una energía asociada a los campos electromagnéticos que no produce trabajo pero que ocupa capacidad.

Los generadores de serie expresan su capacidad (potencia de chapa), tanto en términos de potencia activa (kW) como de potencia aparente (kVA) o bien indican la potencia activa considerando un  $\cos(\varphi)$  que suele ser de valor 0.8.

Un factor de potencia 0.8 corresponde a una mezcla de cargas resistivas puras y reactivas inductivas típicas de los sistemas que combinan usos domésticos y productivos.

Casos típicos de cargas de los sistemas rurales son las resistivas puras (lámparas incandescentes, calentadores y estufas de resistencia y las reactivas inductivas (fluorescentes, motores y compresores con factores de potencia entre 0.5 y 0.7 y transformadores y líneas con factores de potencia entre 0.8 y 0.9).

En el caso que el sistema de cargas resulte más reactivo inductivo que el contemplado en el diseño del generador (0.8), será necesario instalar compensación capacitiva de las mismas.

El sistema trifásico genera ventaja de su mayor capacidad específica para transportar energía, se aprovechan siempre que se mantenga un sistema de cargas equilibradas, tanto en el valor de las impedancias como en su factor de potencia, de modo que, cada fase transporte aproximadamente la misma corriente.

Para que la PCH funcione conectada en paralelo con una red rural que tiene otros modos de alimentación de mayor potencia, la red fija la referencia de frecuencia y el generador asincrónico no necesita regularla. Esta es la aplicación más difundida. No obstante, existen reguladores ya desarrollados similares a los que se utilizan para los generadores sincrónicos y a los que nos referimos en el siguiente apartado.

Tanto para los generadores sincrónicos como para los asincrónicos, cuando la regulación se realiza utilizando cargas balasto, es decir, regulando por carga constante deben tenerse en cuenta las exigencias adicionales de potencia reactiva, a los efectos de dimensionar la potencia aparente (kVA) del generador.

#### **3.7.4. La regulación de Tensión y Frecuencia**

La tensión y la frecuencia con la que se suministra energía para los usos domésticos y productivos de la electricidad en corriente alterna, son los parámetros de la calidad del servicio.

El excesivo apartamiento de los valores nominales para los que están diseñados los artefactos y equipos que utilizan corriente alterna, producen alteraciones en la función que prestan, daños permanentes y alteración o reducción de la vida útil de los mismos esto provoca un sobre calentamiento generando que la lámpara fluorescente no enciende cuando las tensiones caen por debajo del 15% de su valor nominal. En las lámparas incandescentes la sobretensión reduce la vida útil y la subtensión reduce el nivel de iluminación

En general el equipamiento eléctrico es diseñado para funcionar adecuadamente dentro de rangos de variación de tensión y frecuencia asociados con los efectos antes descritos de tales variaciones.

Los estándares de calidad aceptada para pequeños sistemas eléctricos son:

**Tensión:** +/- 8 % a 10 % del valor nominal.

**Frecuencia:** 50 Hz – 53 Hz (se aceptan incrementos del 5% pero se evitan frecuencias debajo de la nominal).

Las variaciones de tensión y de frecuencia del sistema es la variación de la carga que debe alimentarse en el generador.

En los grandes sistemas de potencia de variaciones incrementales de carga son pequeñas y la corrección de los parámetros de tensión y frecuencia se realiza con gran número de unidades de generación y con un conjunto adicional de recursos operativos.

En los pequeños sistemas con PCH las variaciones incrementales de carga pueden ser muy grandes. Una plancha (1.000 W) que se conecta a una red que opera en ese momento con una carga de 10 kW, provoca un incremento de carga del 10 %, es decir que conexiones de cargas significativas tenderán a “frenar” el sistema reduciendo tensión, frecuencia y desconexiones de carga significativas tenderán a “embalar” el sistema aumentando tensión y frecuencia.

#### **3.7.4.1 Sistemas y dispositivos de regulación**

Existen dos sistemas básicos para mantener los parámetros eléctricos del sistema dentro del rango admisible de calidad.

1. Consiste en mantener carga constante, ya sea durante todo el tiempo de operación o en escalones de carga constante durante períodos horoestacionales. De este modo, si el generador ve una carga constante, no se producirá variación de tensión y frecuencia. Este sistema se denomina de regulación por carga.
2. Cuando la carga que ve el generador variable, es la turbina es que debe suministrar una potencia variable durante la operación. La variación de la potencia de la turbina se obtiene variando el caudal de agua que ingresa al rotor, ya que la altura de carga es fija. Este sistema se denomina de regulación por caudal.

La aplicación de uno u otro método de regulación dependen de la abundancia o escasez del recurso hídrico y la curva de carga del sistema.

Si el recurso hídrico es escaso entonces es conveniente regular por caudal, para hacer óptimo el aprovechamiento del mismo.

Si el recurso hídrico es abundante pero la curva de carga tiene comportamiento volátil y factor de carga muy bajo también resultará conveniente adoptar la regulación por caudal.

Si los recursos hídricos son abundantes, puede incrementarse el factor de carga mediante usos alternativos de la electricidad o bien ordenar los usos eléctricos en escalones de la curva de carga, la regulación por carga resultará más conveniente.

Dado que los generadores de serie incluyen dispositivos que ajustan su corriente de excitación a manera de mantener la tensión constante en forma automática con las variaciones de carga, los medios de regulación usados en las PCH se orienta, a corroborar y ajustar los datos de la frecuencia del sistema eléctrico.

#### **3.7.4.2 La regulación por carga**

El generador verá una carga constante o bien escalones de carga que permita un ajuste manual de la turbina.

Para mantener la carga constante pueden incorporarse al sistema usos alternativos de la electricidad, o bien, dispersar los excedentes de potencia no utilizados en cargas balasto resistivas.

Los usos alternativos pueden colocarse tanto en la red de alimentación de usuarios como en la misma sala de máquinas. Éstos permitirán un aprovechamiento más eficiente de la energía que la solución de despejar calor para mantener la carga constante.

Un sistema típico de carga constante, es el de alimentar sólo iluminación, un servicio de 4 o 6 horas durante la noche, en este caso, las viviendas no tienen llaves para comandar sus luminarias.

Sistemas más sofisticados se han usado con circuito alternativo en las viviendas destinado al calentamiento de agua o a cocinas eléctricas de acumulación que funcionan durante el día, y otro circuito cuya potencia es de la misma magnitud y que corresponde a la carga de iluminación que se usa durante la noche.

En general, en estos casos, que también se utilizan en establecimientos productivos, se trata de disponer de circuitos alternativos de la misma capacidad que atiendan a distintos usos, de manera que la demanda del usuario del sistema siempre será una carga constante.

Al corregirse la carga en la sala de máquinas, se pueden utilizar distintas opciones útiles.

- Se puede conectar un sistema de bombeo de agua más que de válvula al reservorio (embalse) los excedentes de caudal que no se destinan a atender la demanda del sistema.
- Se puede instalar un banco de baterías, adecuadamente, dimensionado para que absorba los excedentes de energía, complementando un servicio mixto de redes y de carga de baterías. También puede diseñarse el banco de las baterías para cargarse durante las horas de baja demanda y mediante un inversor inyectar energía a la red durante las horas de mayor demanda
- Por último, se dispone del recurso de disipar el calor en resistencias refrigeradas cuyo diseño debe contemplar un conjunto escalonado de valores crecientes de capacidad de manera de obtener, por combinación, el ajuste de carga deseado.

#### **3.7.4.3. Regulación por caudal**

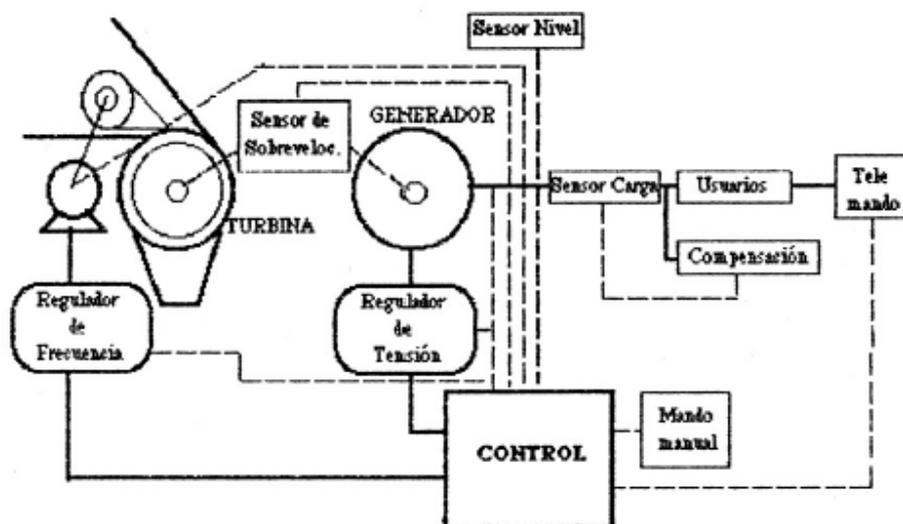
Las características a las que deben adecuarse un regulador de tensión y frecuencia, actuando en un pequeño sistema aislado de generación, basado en su PCH, son:

- Momento de inercia del conjunto Turbina - Generador apreciable respecto de la apertura del dispositivo de regulación de caudal de la turbina y pequeño respecto de las variaciones de carga del sistema eléctrico: determinara la velocidad del conjunto puede variar muy rápidamente, ante alteraciones de la carga, lo que implica disponer de un regulador de frecuencia de elevada capacidad de respuestas, pero esto se contrapone con una respuesta lenta de la velocidad a la apertura o cierre del dispositivo de regulación de caudal, condición que provoca inestabilidad del sistema.

- Generadores de baja potencia: determinara que la inclusión de una carga pequeña en el sistema (500W) significa un gran porcentaje de variación de la carga total, ya que los generadores poseen una potencia nominal que va desde 3 a 40 KW, lo que produce grandes porcentajes de variación de frecuencia. Además, los generadores de menor potencia tiene el inconveniente de la carga que representa el sistema regulador es parte considerable de su potencia.
- Represas de poca reserva y arroyos de bajos caudales: obliga a disponer de un sistema de censado de nivel de agua que, habilite o no, a la central a generar.
- Emplazamiento de los aprovechamientos en las zonas rurales, en general alejadas de las líneas de energía del sistema centralizado: Caracteriza al sistema por tener que regularse sin contar con la tensión y la frecuencia del sistema eléctrico regional como referencia
- Operación por personal no calificado: obligará disponer de controles lo más sencillos posibles, dado que el operador en general es un colono rural.

Figura 26

Requerimientos básicos descritos utilizado el diagrama del sistema.



El funcionamiento general de una PCH, partiendo del sistema en reposo, es el siguiente:

- Si hay suficiente agua en el embalse, el detector de fin de carrera de cierre se encuentra accionado. Cuando el usuario de la orden de marcha, la unidad de control ordena a un pequeño motor de c. c. la apertura del dispositivo de regulación de caudal, a través del regulador de frecuencia.
- El álabe se abre hasta que la tensión generada entra en el rango propio de regulación, momento en el que el motor de c. c. pasa a ser regulador de frecuencia en forma lineal.
- El sistema permanece en ese estado, autorregulándose hasta que alguna de las señales de entrada a la unidad cambie de estado.

Este cambio de estado puede ocurrir por los siguientes motivos:

- Orden del usuario de parada
- Falta de agua en el embalse
- Falta de tensión generada
- Sobrevelocidad del grupo
- Indicación de fin de carrera

Cualquiera de las primeras tres situaciones hacen que la unidad central ordene al motor cerrar el dispositivo de regulación de caudal y el sistema queda a la espera de una orden de puesta en marcha de parte del usuario, siempre que las condiciones del arranque sean las adecuadas.

La cuarta situación (sobrevelocidad del grupo) puede ser programada para que suceda lo de las tres primeras o que ordene cerrar hasta que se llegue al margen de regulación.

La quinta situación (indicación de fin de carrera) puede producir dos acciones:

- La primera, que el fin de la carrera sea el cierre, por lo cual el sistema queda en espera.
- La segunda, que el fin de la carrera sea el de máxima apertura, lo que desencadena el proceso de parada.

Adicionalmente, se instala un bloque de cargas de compensación, que consta de un banco de resistencia que, ante un cambio brusco en la carga del sistema, compensan este cambio en forma aproximada, y luego, lentamente, vuelve al estado inicial, permitiendo al regulador de frecuencia ir acomodándose sin que haya desplazamientos grandes de la velocidad del grupo turbina–generador. Esta forma de compensación, puede ser reemplazada por otro sistema que incorpora cargas en función del desplazamiento de frecuencia que sufre el generador.

### **3.8 Obras de distribución eléctrica**

Para estas obras los criterios de diseño son los que se aplican normalmente en redes rurales.

Si la PCH se encuentra en una ubicación tal que la totalidad de la carga está distribuida en un radio de 1.5 – 2 km. desde la sala máquina, resultará conveniente diseñar el sistema totalmente en baja tensión.

Si, como frecuentemente ocurre la carga se encuentra distribuida en un radio de varios kilómetros, será necesario transferirla en media tensión, ya sea con líneas monofásicas de 7,6 kV o trifásicas de 13,2 kV.

Como todo sistema de distribución rural, el mismo deberá equiparse con los correspondientes elementos de maniobra, de puesta a tierra y de protección.

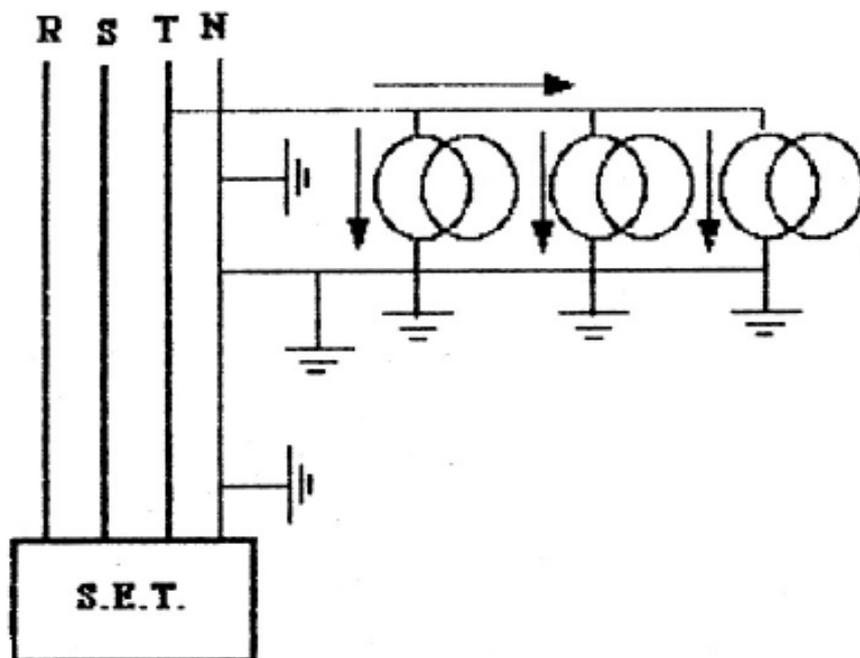
El diseño eléctrico permite definir tipo y dimensiones del conductor, el que podrá ser de cobre, de aleación de aluminio o de alambre de acero. Las cargas a transferir, las caídas de tensión admisibles y el cálculo económico de pérdidas determinará cuál es la solución más conveniente.

El diseño mecánico atenderá a las distancias eléctricas que deberá respetar la separación entre conductores y con la tierra, definirá el vano más económico (distancia entre postes) y realizará el cálculo mecánico de conductores y postes.

Siguiendo el concepto de utilizar técnicas y modalidades constructivas que reduzcan distribución monofásica con retorno por tierra (MRT).

Figura 27

Distribución monofásica



Esta solución Tecnológica puede acompañarse de un proceso de selección de materias y modalidades constructivas, orientado a reducir los costos. En tal sentido, se sugiere considerar:

- Uso de conductores de acero (cable y alambre) y mayores vanos
- Uso de postes de madera local, sin tratamiento
- Recuperación de materiales usados (principalmente herrajes y aisladores)
- Desarrollo de convertidores monofásicos / trifásicos estáticos o rotativos, para uso de fuerza motriz de equipos de más de 7.5 HP
- Adoptar menores exigencias para la puesta a tierra de los transformadores
- Promover la participación de los municipios y de los futuros usuarios en las fases del proyecto y construcción de las obras

## **4. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE DIFUSIÓN DE PCH**

### **4.1. Aspectos institucionales**

Cabe destacar que el estudio se refiere a una tecnología de abastecimiento descentralizado de electricidad, cuya difusión puede apoyarse tanto en el interés privado como en el sector público.

Debiéndose resolver necesidades de diferente naturaleza. En el primer caso, se trata de una solución alternativa dentro de un menú de opciones que se presentarán a potenciales usuarios en respuesta a su "demanda solvente" y el mercado estará apoyado en las condiciones de competitividad (confiabilidad, precio, financiación, servicio post-venta, etcétera) que presenta dicha tecnología. En el segundo caso, la presencia activa del sector público está, generalmente, relacionada a una acción directa o indirecta del gobierno para promover el uso de esa tecnología alternativa como instrumento de sus políticas de desarrollo científico, económico o social. Es, en este escenario, donde se inscribe el caso analizado en el estudio ya que se trata de resolver el abastecimiento eléctrico de usuarios rurales con escasa o nula capacidad de pago, en respuesta de sus necesidades energéticas (expresadas a través de sus requerimientos) y no sólo a la demanda solvente.

Pero en el caso de la PCH en Guatemala, como en muchos casos de tecnologías energéticas alternativas dentro y fuera del país, el desarrollo tecnológico no ha sido inscrito en un proceso global de planeamiento.

Las acciones de Intensidad + Demanda no fueron programadas con anterioridad dentro de un plan general de soluciones para el abastecimiento energético del sector rural más bien su origen y desarrollo primario han estado vinculados en el campo científico y al impulso dado por entusiastas investigadores.

En el caso particular en la etapa de desarrollo tecnológico fuertemente vinculado al sector de Intensidad + Demanda ha estado incluida la participación de múltiples instituciones gubernamentales y privadas que instrumentaron años de trabajo y un esfuerzo financiero.

## 4.2. Aspectos ambientales.

### Tabal V.

#### 4.2.1. Efectos ambientales que se controlaron y deben controlarse en el diseño y construcción de las PCH.

EFECTOS AMBIENTALES	MEDIDAS DE MITIGACIÓN
Generación de polvos en excavación y desbaste. Arrastre de polvos por acción del viento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Minimizar el tiempo de exposición de superficies de suelo expuestas</li> <li>2. Proteger las superficies de la acción del viento (cubriéndolas)</li> <li>3. Limitar la dispersión de polvo generado en operaciones de desbaste y pulido</li> <li>4. Adecuada disposición de materiales sueltos</li> </ol>
Contaminación de aguas y suelos por pérdidas de combustibles y aceites de máquinas y en generación de residuos durante la construcción	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adecuada disposición de los desechos</li> <li>2. Instalaciones sanitarias para el personal apropiadas al sitio y disposición de efluentes en pozo absorbente</li> <li>3. Mantenimiento correcto de motores y maquinarias que minimicen fugas y pérdidas</li> </ol>
Modificación del regimen natural en un arroyo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adecuada planificación para la ejecución de las obras de cierre del arroyo y desvío del cauce hasta terminar el vertedero</li> <li>2. Las aguas interceptadas por la obra deberán ser adecuadamente canalizadas durante la construcción, asegurando su descarga aguas abajo del cierre, sin ocasionar arrastre de materiales, ni erosiones</li> <li>3. El diseño debe considerar la construcción de contrafuertes laterales para evitar erosión en caso de grandes crecidas que superen la capacidad de evacuación del vertedero</li> <li>4. El llenado del embalse no debe afectar los usos del agua en el curso inferior</li> </ol>
Alteración del drenaje superficial. erosión y sedimentación en ocasión de precipitaciones intensas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Procesos constructivos para las nivelaciones y movimiento de suelos que minimicen la interceptación de la escorrentía natural y canalicen adecuadamente el drenaje superficial</li> <li>2. Tratamiento de pendientes o taludes con pastos o especies vegetales que establezcan y retengan los suelos</li> <li>3. Diseño de canales en PCH que eviten filtraciones de agua que transporta y tratamiento de las áreas circundantes para evitar arrastre de sólidos dentro del canal</li> </ol>
Alteración de la Calidad del Agua	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Debe limpiarse y retirarse del embalse, previo al llenado, la vegetación y los residuos que, al quedar sumergidos, puedan afectar la calidad del agua</li> <li>2. El diseño debe considerar la construcción de descargadores de fondo que permitan el vaciado del embalse</li> </ol>

EFECTOS AMBIENTALES	MEDIDAS DE MITIGACIÓN
Impactos debido a los residuos provenientes de la limpieza del sitio de obra, plantas, suelos excavados residuales y residuos producidos durante la construcción	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planificación adecuada del proceso de preparación del sitio de obra, zonificación de áreas de trabajo y almacenamiento temporal de residuos</li> <li>2. Transporte y disposición de suelos sobrantes, residuos y materiales de descarte y sitios aprobados por las normativas municipales de la localidad</li> <li>3. Limpieza y restauración del sitio de obras después de terminada la construcción</li> </ol>
Tala de árboles y vegetación natural existente en sitio de obras	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Restauración de la capa de suelos afectada</li> <li>2. Revegetación de las áreas afectadas, reforestando con especies herbáceas y arbóreas de fácil arraigo en el lugar</li> </ol>
Riesgos para la seguridad física de la población que desarrolla actividades en relación al sitio de las obras	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cumplimiento de las normativas de higiene y seguridad del trabajo, aplicables al tipo de actividad</li> <li>2. Cumplimiento de normas municipales sobre procedimientos constructivos y ocupación y uso de la vía pública durante la construcción</li> </ol>
Riesgos para la seguridad física de la población aguas abajo de la presa	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las Obras de Cierre deben diseñarse con condiciones seguras tanto en el cálculo estructural como en la capacidad de verter los caudales de las máximas crecidas</li> <li>2. Las Obras deben ejecutarse con el adecuado control de calidad de los materiales y de los procedimientos constructivos</li> <li>3. Debe controlarse la compactación y/o sellado de todas las superficies de contacto dentro y entre los distintos componentes de la pantalla de cierre de manera de evitar filtraciones que puedan luego, por erosión hídrica, disminuir la seguridad de la presa</li> </ol>

Tabla VI

**4.2.2. Efectos ambientales que deben controlarse en la operación y mantenimiento de las PCH.**

EFECTOS AMBIENTALES	MEDIDAS DE MITIGACIÓN
Alteración del ecosistema acuático	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las obras de cierre, la reducción de velocidad del agua y la sedimentación en el área del embalse, afectan la vida de la fauna acuática.</li> <li>2. En épocas de altos caudales debe abrirse periódicamente el descargador de fondo para facilitar la renovación y limpieza del agua embalsada.</li> <li>3. En épocas de bajos caudales debe mantenerse un nivel mínimo de caudal continuo aguas abajo.</li> <li>4. Es conveniente desde el punto de vista ambiental y útil desde el punto de vista productivo sembrar peces en el embalse.</li> </ol>
Riesgo de daños a personas y bienes.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Debe formularse una rutina para monitorear en forma sistemática el estado de las obras, equipos e Instalaciones cuya falla puede producir daño a las personas o a la propiedad de terceros.</li> <li>2. Particularmente debe vigilarse <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ la presencia de filtraciones en las Obras de Cierre y de conducción de las PCH</li> <li>➤ la limpieza de traza y los dispositivos de protección y de puesta a tierra en la Obras de Distribución</li> <li>➤ el estado de las instalaciones y el correcto funcionamiento de los disyuntores en las instalaciones eléctricas de baja tensión.</li> </ul> </li> </ol>
Contaminación por compuestos de plomo.	Deben seguirse las instrucciones del fabricante para el manipuleo y la deposición de los elementos de las baterías de acumulación cuando se reparen o se reemplacen.

## CONCLUSIONES

1. En relación con los requerimientos de energía eléctrica de esta comunidad del área en análisis: lo naciente del fluido eléctrico, fusionado a la situación socioeconómica del mayor porcentaje de las familias y al escaso desarrollo de los usos productivos, genera que el poder adquisitivo de la energía eléctrica para los consumidores sea inaccesible.
2. El caudal de diseño que se requiera, se determinará considerando los rendimientos de transporte del agua y de su conversión de energía hidráulica a energía eléctrica.
3. El sistema trifásico genera ventaja de su mayor capacidad específica para transportar energía, se aprovechan siempre que se mantenga un sistema de cargas equilibradas, tanto en el valor de las impedancias como en su factor de potencia, de modo que cada fase transporte aproximadamente la misma corriente.
4. La solución en generación más económica es utilizar generadores de serie usualmente para los motogeneradores térmicos respecto a las exigencias mecánicas o de la regulación de la tensión lo aconsejable es solicitar a los fabricantes diseños especiales pero el costo unitario de potencia suele ser el doble del correspondiente a los equipos de serie.
5. El uso de motores de inducción como los generadores (asíncronos) presenta la ventaja de los menores costos específicos de capacidad pero incorpora problemas de regulación de la frecuencia.
6. Tensiones elevadas pueden dañar el aislamiento de los bobinados de los motores eléctricos y sacarlos de servicio. Tensiones muy bajas provocan sobre calentamiento de los motores con la consiguiente reducción de su vida útil.
7. Las variaciones de tensión y frecuencia permitidas en estos sistemas, son más flexibles que para los sistemas eléctricos de alta concentración y demanda de alta calidad con tecnología de punta, con efecto en los costos tanto de inversión como de operación y mantenimiento.



## RECOMENDACIONES

1. Las directrices para conocer la conducta de los caudales de una cuenca es contar con mediciones que registren la historia de la misma sobre un periodo considerable, aún así, modificaciones ambientales que se generan en nuestro planeta, por ejemplo: calentamiento global, cambios en las corrientes marinas, tala y deforestación de áreas boscosas, producen importantes cambios en el comportamiento hidrológico de las cuencas, subyugan la confiabilidad de las proyecciones basadas en los datos cronológicos.
2. Con relación a los costos, la solución técnica debe reducirlos al mínimo compatible con un abastecimiento permanente.
3. Las instalaciones deben transportar los caudales desde las obras de captación hasta la turbina para su aprovechamiento energético, pueden estar constituidas por tuberías cerradas solas o combinadas con canales a cielo abierto.
4. La calidad del agua debe asegurarse mediante la separación de piedras, ramas, arenas u otras partículas sólidas que ocasionen deterioro en ductos y tuberías 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.
5. La selección del lugar para realizar las obras de toma de agua requiere considerar el comportamiento de la carga de sólidos en suspensión en el flujo de agua.
6. Deben observarse especificaciones de materiales y técnicas constructivas que atiendan a la seguridad de las presas, prestar atención a la evacuación de crecidas y a la protección de daños de los márgenes del entorno. En las nacientes del arroyo o en las zonas con suelos de poca retención o con grandes pendientes.
7. Deberán tratarse las agua que salen de la PCH, como los lodos activados por medio de una pequeña planta de tratamiento, esto será muy importante para la mejorar el ambiente y la sostenibilidad de la flora y la fauna aguas abajo, así mismo disminuirá el DBO y DQO, aumentando el contenido de oxígeno en el agua del río.

8. Realizar estudios químico- físico a los lodos y arena que se dan como resultado de la sedimentación para poder ser reutilizados como compost o para la construcción.
9. Realizar un reciclaje de botellas plásticas que se obtienen en las rejillas antes de llegar a los desarenadore ya que estos crean impactos negativos al ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Baragner, Dionisio, 1988,"Características Socioeconómicas y Culturales de los Usuarios de Microturbinas en Misiones", Informe de Avance, Centro Regional de Desarrollo de Micro Aprovechamientos Hidroeléctricos,
2. Análisis físico químico sanitario del laboratorio unificado de química y microbiología sanitaria, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) de la Facultad de Ingeniería y la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) de la Municipalidad de Guatemala
3. NRECA, 1986, Micro-Hydropower Sourcebook
4. Santander, Pedro, 1988, "Regulación de Micro aprovechamientos Hidroeléctricos", Centro de Desarrollo regional de Micro aprovechamientos Hidroeléctricos.
5. SKAT 1993, "Cross Flow Turbine Design and Equipment Engineering", Volumen 3
6. National Rural Electrification Cooperative Association (NRECA), Manual de sistemas solares de iluminación domiciliar, (folleto) p. 6 – 30.
7. RULE, Manual para instalación de bomba, modelo 1500. (folleto) p. 1-6.
8. Página web: [www.bicho.uc3m.es/alumn/CE1/practicas/pract4\\_2](http://www.bicho.uc3m.es/alumn/CE1/practicas/pract4_2) (marzo 2003).



## **Anexos**

Anexo 1: Esquema de detalle del Desarenadore visto de planta y un corte en paralelo

Anexo 2: Esquema de detalle del Desarenadore corte seccionado Trasversal

Anexo 3: Esquema de detalle del tanque visto de planta

Anexo 4: Esquema de detalle del tanque sección transversal y paralelo