

#### **IV-2.4 Mini/Micro Central Hidroeléctrica**

Este manual de mini/micro centrales hidroeléctricas es dirigida a los ingenieros en los gobiernos locales que quieren electrificar sus distritos o pueblos. El propósito de este manual es de suministrar la información básica para descubrir sitios prometedores y hacer estudios en áreas locales.

# **Manual de mini/ microcentrales hidroeléctricas para la electrificación rural en el Perú**

Dávila, Celso

**Manual de mini/micro centrales hidroeléctricas para la electrificación rural en el Perú** / Celso Dávila, Luis Rodríguez, Teodoro Sánchez, Javier Coello, Rafael

Escobar, Gilberto Villanueva, Carlos Sánchez — Lima: JICA; 2008

164 pp.

ISBN Nº

MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS / ENERGÍA HIDROELÉCTRICAS /  
GENERACIÓN DE ENERGÍA / FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE / ANÁLISIS  
ECONÓMICO / ANÁLISIS FINANCIERO / ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO /  
MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN / CONSTRUCCIÓN / TURBINAS

254/ D18

Clasificación SATIS, Descriptores OCDE

**Autores:** Celso Dávila, Luis Rodríguez, Teodoro Sánchez, Javier Coello, Rafael Escobar, Gilberto Villanueva, Carlos Sánchez

**Revisión:** Equipo del Estudio JICA y Ministerio de Energía y Minas/ Dirección General de Electrificación Rural (DGER)

**Corrección de estilo:** Luis Andrade

**Coordinación:** Alejandra Visscher

**Diseño y diagramación:** Calambur

**Impreso por:**

Impreso en el Perú, julio de 2008

© JICA

Agencia de Cooperación Internacional de Japón

Av. Angamos Oeste 1381, Santa Cruz-Miraflores

Casilla 18-0261 Lima 18, Perú

Teléfono: 221 2433

Hecho el depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú 2008-





Ministerio de Energía y Minas  
República del Perú



DGER/MEM

#### LA ELECTRIFICACIÓN RURAL EN EL PERÚ

Los inicios de la electrificación rural en el Perú datan de mediados del último siglo, cuando en 1955 fue creada la nueva Ley de Electricidad Industrial, cuyo propósito fue impulsar a la inversión privada a promover la electrificación en zonas aisladas.

Complementando esto, en el año 1962 fue aprobado el Servicio Eléctrico Legal Nacional (SEN), que regula el suministro de electricidad en áreas sin inversión privada, de la misma manera que promueve el desarrollo de plantas hidroeléctricas por el gobierno.

En 1992, una nueva ley, la No. 19521, Ley Normativa de Electricidad, inició el proceso de alumbrado público a cargo del gobierno. Fue declarada la necesidad, utilidad y seguridad de un suministro eléctrico y el Ministerio de Energía y Minas se convirtió en la entidad a cargo de la regulación y protección. Esta nueva responsabilidad fue titulada a ELECTROPERU SA que forma parte del Servicio Nacional Eléctrico (SEN), Corporación Mantaro (CORMAN), Corporación Santa (CORSAN) y otros. ELECTROPERU permanece a cargo de la electrificación urbana y rural en el Perú.

Diez años después, en 1982, fue creada la Ley General de la Electricidad transfiriendo el derecho de distribución de energía, dado inicialmente a ELECTROPERU, hacia las compañías regionales, con el propósito de que ELECTROPERU permanezca como la compañía principal, teniendo todas las partes del gobierno y siendo responsable del planeamiento y del equipo eléctrico haciendo que el plan maestro de electricidad, estudios y ejecución de generación y transmisión trabaje. Esta ley permitió el desarrollo del sector eléctrico en todo el Perú.

En ese año, la extensión de la electricidad alcanzó un 40%. En ELECTROPERU fue creada una organización dedicada exclusivamente a la electrificación en provincias y distritos de todas las áreas rurales.

En 1992 apareció la Ley de Concesiones Eléctricas, Ley 25844 que dividió las actividades del sector eléctrico en tres partes: Generación, Transmisión y Distribución, dando concesiones y autorizaciones, todas ellas reguladas por el gobierno. Con este hecho el gobierno aseguró mayor eficiencia en materias de electricidad y también aseguró la participación del sector privado, pero la electrificación rural no fue tomada en cuenta. El porcentaje de electrificación nacional alcanzado en ese tiempo fue de 54.8%.

La Dirección Ejecutiva de Proyectos (DEP) fue creada bajo decreto supremo No. 0241-93-EM en 1993 como parte del Ministerio de Energía y Minas con derechos técnicos, administrativos y financieros propios a cargo de la ejecución de proyectos energéticos con fondos de diferentes fuentes.

Desde agosto de 1993 hasta finales de 2006, más de 5.6 millones de personas han sido beneficiadas con electricidad, siendo el incremento de la electrificación nacional de 56.8% en 1993 a 78.7% en 2006.

En este periodo de tiempo, 672 proyectos fueron ejecutados con una inversión total de 665 millones de dólares, esto significa: 57 proyectos de sistemas de transmisión (líneas de transmisión y subestaciones), 310 proyectos de distribución (mini hidroeléctricas, redes primarias y secundarias), 63 proyectos de hidroeléctricas, 207 proyectos de generación térmica, 2 proyectos de energía eólica y 4 programas de paneles solares.

Hemos comisionado 2 872 km de líneas de transmisión y 20 852 km de líneas de distribución, incrementándose la generación aislada en más de 150 MW de potencia térmica e hidráulica.

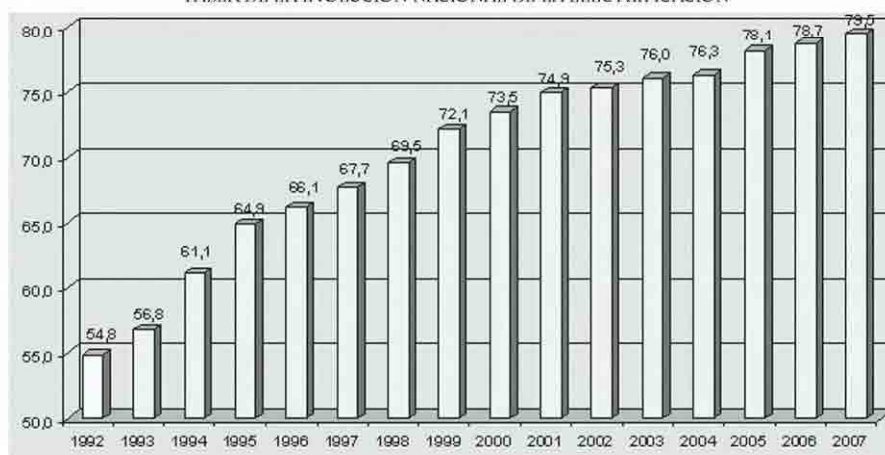
El decreto supremo No.026-2007-EM de fecha mayo de 2007 propuso la creación de la Dirección General de Electrificación Rural (DGER) como entidad que pudiera ser parte de la oficina del Viceministerio de Energía y Minas (MEM), a través de la fusión del DEP y el FONER.

Igualmente el Decreto Supremo No. 031-2007-EM de fecha 26 de junio de 2007, que aprobó las regulaciones de los alcances y organización del MEM declaró que: DGER/MEM es responsable de la ejecución del Plan Nacional de Electrificación Rural, el cual es una tarea del sector de Energía y Minas.

También agrega la ejecución y coordinación de proyectos electromecánicos teniendo la prioridad las áreas rurales y lugares en extrema pobreza.

Este documento legal declara que DGER/MEM está conformado por las siguientes entidades: La Dirección de Proyectos (DPR) y la Dirección de Fondos Concursables (FONER).

TABLA DE LA EVOLUCIÓN NACIONAL DE LA ELECTRIFICACIÓN





Un mañana mejor para todos.  
Agencia de Cooperación Internacional del Japon

JICA

Fundada en 1974, la Agencia de Cooperación Internacional de Japón es una agencia de implementación de asistencia técnica enfocada en sistemas de construcción, reforzamiento de organización y desarrollo de recursos humanos, que harán posible el desarrollo de países en la persecución de su propio desarrollo sustentable socioeconómico.

El trabajo de JICA es de amplio alcance y refleja intereses internacionales y necesidades cambiantes de los países en desarrollo.

A los sectores tradicionales: la agricultura y la infraestructura social, JICA ha agregado recientemente asistencia para combatir enfermedades infecciosas, ayuda para enfrentar la economía de libre mercado o el establecimiento de sistemas legales y ayuda para la construcción pacífica así como esfuerzos de reconstrucción en los países.

JICA usa un acercamiento basado en el tema para analizar comprensivamente temas a ser resueltos y despachar varios tipos de programas. "Estudios de Desarrollo" es uno de los programas y esta asistencia es para formular planes de desarrollo a nivel nacional o regional en varios campos económicos y sociales. Este incluye elaboración de planes maestros que sirvan como "esquema" para programas de desarrollo a mediano y largo plazo y también incluyen estudios técnicos de aspectos económicos y ambientales de implementación de proyectos propuestos como las bases para la factibilidad de los estudios.

En la República del Perú, JICA implementó el "Plan Maestro para la electrificación rural por energía renovable" de febrero de 2007 a julio de 2008 como uno de las contribuciones al Perú basado en lo arriba mencionado.







# Prefacio

Este manual de mini/microcentrales hidroeléctricas fue elaborado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) en cooperación con la Dirección General de Electrificación Rural (DGER) del Ministerio de Energía y Minas (MEM) del Perú.

JICA implementó el "Plan maestro para la electrificación rural con energía renovable en el Perú" desde febrero de 2007 hasta julio de 2008, y el manual fue preparado como parte de este estudio. El objetivo del manual es constituirse en una guía práctica para el planeamiento y construcción de una mini/microcentral hidroeléctrica, de modo que, si miembros de los gobiernos locales y residentes de comunidades, requieren electrificar su región a través de una mini/microcentral hidroeléctrica, pero no tienen ninguna experiencia, puedan obtener el conocimiento necesario al respecto.

Se pueden hacer ciertos estudios para planificar una hidroeléctrica a partir de los casos que el manual presenta como ejemplo. Sin embargo, hay muchos y diversos métodos de planificar y diseñar una central, así que aquellos que quieran planificar una deberían consultar, al finalizar el estudio que el manual propone, con organizaciones apropiadas que cuenten con la suficiente experiencia, como la DGER/MEM.

Adicionalmente, se contó con la colaboración de Soluciones Prácticas-ITDG, Perú para la elaboración del presente manual.

# ÍNDICE

---

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Esquema de mini/microcentrales hidroeléctricas</b>  | 13 |
| 1.1 Electrificación rural   | 13 |
| 1.2 Breve reseña del uso de la energía hidráulica   | 14 |
| 1.3 La energía hidráulica a pequeña escala y su potencial para el desarrollo social                   | 15 |
| 1.4 Riesgos de un negocio basado en centrales hidroeléctricas   | 16 |
| 1.5 Diseñando un proyecto de central hidroeléctrica   | 17 |
| 1.6 Potencia de diseño de una mini/microcentral hidroeléctrica  | 18 |
| 1.7 Componentes de una mini/microcentral hidroeléctrica   | 19 |
| <br>  |    |
| <b>2. Potencial hidroeléctrico del Perú</b>   | 21 |
| <br>  |    |
| <b>3. Evaluación de recursos para mini/microcentrales hidroeléctricas</b>                             | 23 |
| 3.1 Evaluación de la altura   | 24 |
| 3.2 Evaluación del área de captación  | 26 |
| 3.3 Cálculo de la descarga (estación seca)  | 28 |
| 3.4 Estimación de la demanda y del potencial de suministro eléctrico                                  | 29 |
| 3.4.1 Demanda de electricidad de las áreas rurales  |    |
| 3.4.2 Comparación entre la generación eléctrica y la demanda de energía                               |    |
| 3.5 Estudio de las áreas rurales a electrificar   | 30 |
| 3.5.1 Determinación del área de influencia  |    |
| 3.5.2 Metodología para la selección de comunidades  |    |
| 3.5.3 Definición de la región meta  |    |
| 3.6 Calculando la potencia generada por las mini/microcentrales hidroeléctricas (capacidad instalada) | 34 |
| 3.7 Selección del equipo electromecánico  | 34 |
| 3.8 Estudio de la línea de distribución   | 58 |
| <br>  |    |
| <b>4. Toma de datos en el lugar</b>   | 59 |
| 4.1 Medición de la altura   | 59 |
| 4.2 Medición de caudal  | 61 |
| 4.3 Cálculo de la generación de energía (capacidad instalada)   | 64 |
| 4.4 Encuesta in-situ para la línea de distribución  | 65 |
| 4.4.1 Estudio de cargas   |    |
| 4.4.2 Proyección de la demanda eléctrica  |    |

|   |     |
|---|-----|
| 4.4.3 Metodología de proyección de la demanda   |     |
| <b>5. Diseño preliminar</b>   | 69  |
| 5.1 Diseño de obras civiles   | 69  |
| 5.1.1 Diseño de bocatoma  |     |
| 5.1.2 Canal de conducción   |     |
| 5.1.3 Desarenador   |     |
| 5.1.4 Cámara de carga   |     |
| 5.1.5 Tubería de presión  |     |
| 5.1.6 Aliviadero de la cámara de carga  |     |
| 5.1.7 Canal de descarga   |     |
| 5.2 Diseño electromecánico  | 113 |
| 5.2.1 Diseño preliminar de turbinas   |     |
| 5.2.2 Selección del generador   |     |
| 5.2.3 Selección del regulador de velocidad  |     |
| <b>6. Estimación preliminar del costo de instalación de unamini/microcentral hidroeléctrica</b> | 123 |
| 6.1 Costos de instalación y generación de una mini/microcentral hidroeléctrica                  | 123 |
| 6.1.1 Costos de obras de ingeniería civil   |     |
| 6.1.2 Costos del equipo electromecánico   |     |
| 6.1.3 Costos de transporte y montaje del equipo electromecánico                                 |     |
| 6.2 Costo de la línea aérea eléctrica   | 125 |
| 6.2.1 Generalidades   |     |
| 6.2.2 Sistema de distribución eléctrica   |     |
| 6.2.3 Inversión en electrificación rural  |     |
| <b>7. Operación y mantenimiento</b>   | 129 |
| 7.1 Organización  | 129 |
| 7.2 Operación   | 130 |
| 7.2.1 Operaciones básicas   |     |
| 7.2.2 En caso de emergencia   |     |
| 7.2.3 Otros   |     |
| 7.3 Mantenimiento   | 133 |
| 7.3.1 Verificación diaria   |     |
| 7.3.2 Inspección periódica  |     |
| 7.3.3 Inspección especial   |     |
| 7.4 Anotaciones   | 135 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>8. Evaluación económico-financiera</b>   | 141 |
| 8.1 Introducción  | 141 |
| 8.2 Conceptos básicos   | 142 |
| 8.3 Desarrollo de un caso práctico: Lambayeque MCH distrito:<br>Chirinos-San Ignacio-Cajamarca-Perú | 146 |
| 8.3.1 Beneficiarios   |     |
| 8.3.2 Propietarios  |     |
| 8.3.3 Análisis de la demanda  |     |
| 8.3.4 Análisis de la oferta   |     |
| 8.3.5 Balance entre oferta y demanda  |     |
| 8.3.6 Datos para la evaluación económico-financiera   |     |
| 8.3.7 Resultados de la evaluación económico-financiera  |     |
| 8.3.8 Análisis de sensibilidad  |     |
| <br>  |     |
| <b>Bibliografía</b>   | 159 |

# Esquema de mini/ microcentrales hidroeléctricas



---

## 1.1 Electrificación rural

### El acceso a la energía

El acceso a la energía es un elemento fundamental para el desarrollo humano; instituciones como: Banco Mundial, Naciones Unidas, Comunidad Económica Europea, Consejo Mundial de la Energía y otras consideran que la energía es esencial para promover o mejorar servicios básicos como alumbrado, agua potable, salud, educación y comunicaciones. También hay consenso en que las Metas de Desarrollo del Milenio solo serán posibles si primero se logra un acceso universal a la energía.

Sin embargo el acceso universal a la electricidad es un desafío muy grande; por un lado por la magnitud de la carencia de electricidad, pues según estadísticas de organismos como la Agencia Internacional de Energía (IEA), el Banco Mundial y otros muestran que alrededor de 1.6 miles de millones de habitantes en el mundo no tienen acceso a este servicio; y por otro lado porque a pesar de los esfuerzos de los gobiernos de los países en desarrollo el progreso en el acceso a la electricidad es lento y desigual.

En zonas urbanas el crecimiento de la cobertura eléctrica avanza en cierto grado, gracias a la inversión del estado y la inversión privada, esta última favorecida por las reformas del sector de las décadas recientes; mientras que en las zonas rurales el avance es lento, pues la inversión del estado es lenta o nula y la inversión privada no es viable bajo las condiciones existentes de un mercado pobre y aislado. Es así que, durante las décadas de 1970 y 1980 aproximadamente 480 millones de habitantes rurales accedieron a la energía eléctrica (World Bank, 1996), sin embargo globalmente el número de habitantes rurales sin electricidad aumentaron en aproximadamente 150 millones desde 1970 hasta 1990, es decir que no se ha podido cubrir ni siquiera el crecimiento de la población rural.

Según la literatura actual, las necesidades de las poblaciones pobres, y en particular de las rurales son muy pequeñas, la cual en promedio difícilmente exceden los 30kWh a 50kWh por mes, datos de campo también muestran que importantes proporciones de las poblaciones tienen consumos aún mucho menores que las cifras antes mencionadas; por ejemplo en la mayoría de comunidades de los Andes peruanos, una alta proporción de los usuarios tienen demandas de menos de 10kWh por mes y entre el 60% y 70% de las familias difícilmente exceden los 20kWh por mes (T. Sánchez, 2006), con usos limitados a necesidades básicas de alumbrado, cuyo impacto se da principalmente en la mejora de la educación de los niños, acceso a la información y un mínimo entretenimiento.

## 1.2 Breve reseña del uso de la energía hidráulica

La energía hidráulica ha sido utilizada desde tiempos remotos a través de máquinas pequeñas y simples como son las ruedas hidráulicas, las cuales luego se utilizaron para la molienda de granos u otras actividades. En la actualidad esta es una de las más importantes fuentes energéticas en el mundo, contribuyendo principalmente en la generación de electricidad para alimentar a las redes nacionales. Sistemas tan grandes como el de Itaipu en Brasil generando alrededor de 13 000 MW o las Tres gargantas en China generando más de 18 000 MW explican la capacidad de generación de energía eléctrica en base a recursos hidráulicos, explican también sobre la madurez y la importancia de la tecnología utilizada y la confianza de los inversionistas en esta fuente de energía.

A pesar del gran avance tecnológico, en muchos países del mundo aun existen enormes recursos no utilizados, tal es el caso de la mayoría de países latinoamericanos. Por ejemplo Perú tiene un potencial hidroenergético estimado de unos 58 000 MW, sin embargo a la fecha solo hay una capacidad hidroeléctrica instalada de 3 000 MW, es decir un poco más del 5% de la capacidad existente, pero representa alrededor del 50% de la capacidad total instalada total del país, y suministra el 93% de la energía eléctrica consumida de la red nacional.

Las actividades desarrolladas por la humanidad requieren de energía en uno u otro grado y actualmente se ha demostrado que la generación de energía basada en hidrocarburos será insostenible en el mediano plazo debido a que el petróleo va en camino a su agotamiento definitivo, y que el gas y el carbón correrán la misma suerte en algunas décadas. Además, los hidrocarburos producen gases de efecto invernadero que están contaminando severamente el ambiente.

La energía hidráulica es una energía limpia y renovable, que presenta una de las mejores oportunidades como fuente de generación de energía eléctrica y mecánica, especialmente en el caso de los países latinoamericanos, donde sus demandas de energía rural pueden ser atendidas con centrales hidráulicas a pequeña escala, cuyos efectos sobre el ambiente son mínimos<sup>1</sup>.

En ese sentido la energía hidráulica puede ser una fuente importante para la generación de energía limpia, siempre y cuando su implementación se haga teniendo respeto al ambiente y a las diferentes comunidades que ocupan las cuencas hidrográficas utilizadas. Sin embargo lo más importante estriba en el hecho de que se puede utilizar convenientemente para la generación de energía a pequeña escala en forma aislada para la electrificación rural, donde resulta una de las opciones más apropiadas y competitivas económicamente para dotar de energía a las poblaciones rurales. En efecto durante los últimos años se han reportando importantes datos de parte de los organismos promotores de la electrificación rural donde indican que los costos de electrificación a zonas aisladas mediante la red se hace cada vez más costoso; por ejemplo el MEM (Ministerio de Energía y Minas, en Perú) indica que el costo de conexión a cada nueva familia mediante red esta bordeando los US\$ 1 100.00 a fines del 2003, monto que evidentemente irá creciendo a medida que se va avanzando hacia zonas más alejadas de las redes.

1 Durante las últimas décadas se han presentado muchos reclamos a nivel mundial debido a los daños causados por las grandes centrales hidroeléctricas, especialmente las inundaciones a valles productivos y desplazamientos de comunidades enteras, en algunos casos provocando la pérdida irreversible de especies y afectando a grupos étnicos llevando algunas veces hasta su extinción.

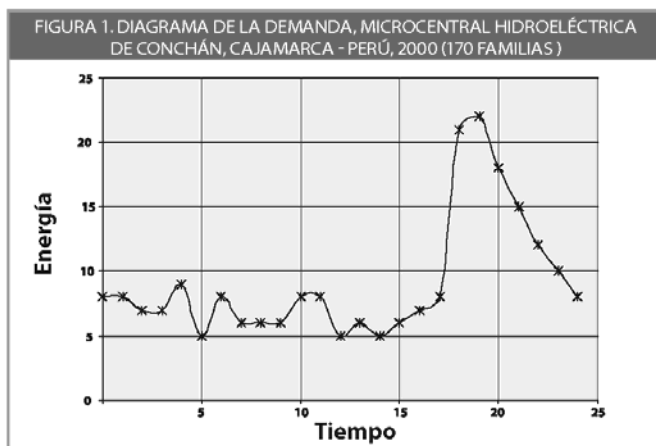
### 1.3 La energía hidráulica a pequeña escala y su potencial para el desarrollo social

Las centrales hidroeléctricas generalmente requieren de una alta inversión inicial comparándola con otras fuentes de energía, sin embargo, una vez instaladas presentan una serie de características que pueden contribuir ventajosamente al desarrollo social comparándola con otras fuentes. Entre estas: (a) es un recurso limpio y renovable, se puede generar energía a pequeña escala sin mayores alteraciones al ambiente; (b) permiten generar energía durante las 24 horas del día; (c) la fuente de energía no tiene costo; (d) su costo de operación y mantenimiento es bajo; (e) en la mayoría de casos, y en especial en centrales pequeñas se puede tener acceso a repuestos y asesoría técnica local o nacional.

Como se sabe, el consumo de electricidad en zonas rurales es muy bajo durante la mayor parte del día, excepto por las primeras horas de la noche (denominadas horas punta), donde existe un consumo relativo "alto". Como se puede apreciar en la figura 1, correspondiente al consumo diario del distrito de Conchan en la provincia de Chota, departamento de Cajamarca, el consumo promedio durante las horas fuera de punta para 170 familias en el año 2001 era de aproximadamente 7.5 kW, mientras que el consumo en las horas punta (que en este caso se dan entre las 5:30pm y 10:30pm) era de aproximadamente 22 kW.

Esta característica de la demanda en las zonas rurales permite disponer de una alta cantidad de energía que puede utilizarse convenientemente para el desarrollo socioeconómico de la comunidad usuaria, en especial porque los costos marginales de generación son despreciables. De hecho, en la actualidad la idea de la promoción de usos productivos como complemento a la implementación de programas de energía es conocida y se viene promocionando por los diferentes organismos de promoción de desarrollo y por los gobiernos.

En ese contexto, de una disponibilidad de generación diaria alta a bajo costo, la energía hidráulica se convierte en la fuente más apropiada para la promoción de usos productivos, para agregar valor a los productos locales e impulsar la artesanía, micro industria y otras actividades productivas que signifiquen ingresos. Ninguna otra fuente de energía presenta tantas condiciones ventajosas para la promoción del desarrollo como lo presenta la energía hidráulica.



2 El diagrama de la demanda que se presenta en la figura 1.1, corresponde a la etapa después de la implementación de un modelo de gestión eficiente, con medidores de energía para todas las familias. El consumo antes de la implementación de dicho modelo era más alto debido al uso ineficiente de la energía.



## 1.4 Riesgos de un negocio basado en centrales hidroeléctricas

Los proyectos para instalar una central hidroeléctrica normalmente requieren de periodos largos, tanto en la fase de preinversión como en la fase de inversión. Por lo general, antes de instalar una central hidroeléctrica hay que pasar por varias etapas, desde estudios de prefactibilidad hasta diseños de ingeniería. Normalmente la decisión sobre la inversión se hace con estudios de factibilidad, después de conocer la existencia real del potencial mediante estimaciones precisas de: potencia por un lado y la demanda de la energía por el otro. La construcción de una central podría ser técnicamente factible y conveniente, pero si no existe un mercado seguro, o mejor aún un comprador de la energía, no se puede tomar la decisión de instalarla.

Una vez tomada la decisión de la inversión se procede al diseño definitivo o de ingeniería, el cual consiste en el dimensionamiento preciso de cada componente de la central, dimensiones de cada uno de los subcomponentes de obras civiles, dimensiones de tubería, casa de fuerza, especificaciones técnicas detalladas de cada una de los equipos que se utilizarán y su procedencia. Este proceso requiere emplear metodologías conocidas de cálculo y los estándares correspondientes.

Sin embargo lo más importante para asegurar el éxito de una central hidroeléctrica, no se encuentra en los aspectos técnicos, sino en la factibilidad del mercado y los costos de inversión requeridos para su implementación. Como se ha mencionado líneas arriba, la instalación de centrales hidroeléctricas, corresponde a proyectos que requieren periodos de ejecución largos, y por tanto su recuperación es lenta. No obstante, estas centrales al no requerir del consumo de combustibles, tiene costos marginales que son generalmente menores que aquellos que requieren de otras opciones energéticas, y por tal motivo tienen mayores facilidades de despacho.

En el caso de las mini, micro y pico centrales hidroeléctricas, estas generalmente se orientan a atender demandas específicas de energía en centros poblados aislados, donde la energía eléctrica no es un negocio rentable. Sin embargo son una buena opción para este uso ya que no requieren de abastecimiento de combustibles, logística que puede resultar complicada y poco confiable, especialmente cuando no hay buenas vías de comunicación. Las centrales hidroeléctricas que utilizan el recurso local le resultan más familiares para los usuarios y más sencillas de operar y mantener por los agentes locales.

Los principales riesgos a los que se expone una central hidroeléctrica se pueden resumir en los siguientes:

- a) **Riesgo de parada del sistema hidroeléctrico, ocasionado por:**
  - ▶ Inadecuada estimación de los recursos hídricos, es decir que el estudio hidrológico haya sido deficiente y por tanto los caudales de diseño son demasiado altos, de modo que se producen problemas en las turbinas por falta de agua.
  - ▶ Inadecuada selección de la turbina, esto podría ocurrir cuando las turbinas son sobre dimensionada para el caudal existente, como consecuencia su funcionamiento puede ser deficiente, pudiendo inclusive provocar la parada de la turbina. Este tipo de fallas (parada de las turbinas) ocurre con mayor facilidad cuando se utilizan turbinas del tipo de reacción (Francis y Axiales) las turbinas de acción tiene un comportamiento más regular, inclusive a caudales parciales relativamente bajos.
  
- b) **Fallas por mantenimiento y/u operación:**

Como es de entender, un mal mantenimiento de la central en su conjunto o de cualquiera de sus partes puede provocar la parada de la central, por ejemplo un

derrumbe u obstrucción del canal o de cualquier parte de ingeniería civil puede dejarse sin agua a la central y por tanto provocar el paro inmediato de ésta, la rotura de un cojinete u otro elemento mecánico igualmente puede parar la central. Las paradas por fallas mecánicas pueden agravarse en el sentido de extender el periodo de parada si es que no se cuenta con repuestos. Por otra parte las fallas de operación que también son de carácter técnico, corresponden a fallas humanas y suceden cuando el operador es improvisado o no ha sido convenientemente capacitado para poner en funcionamiento correcto todo el sistema. Las consecuencias pueden ser mayores que las fallas de tipo mecánico.

c) **Fallas por baja calidad de los equipos:**

La calidad de los equipos depende principalmente del fabricante. Es por ello que, especialmente cuando se trata de centrales hidroeléctricas en el rango superior que las mini, se debe tener en cuenta la trayectoria del fabricante, los materiales que utilizan, sus procesos de fabricación, etc.

d) **Calidad de la instalación de la maquinaria:**

Especialmente en los rangos más grandes que las mini la calidad de la instalación es importante, un buen ensamblaje implica un buen alineamiento de las máquinas entre sí, especialmente tratándose de la turbina con el generador y los elementos intermedios que se utilicen.

Comúnmente los suministradores de las máquinas son también los instaladores de éstas, hasta cierto punto ello resulta conveniente ya que en el posible caso de fallas se evita discusiones entre el proveedor de las máquinas y el instalador. Es por ello que la recomendación para los rangos mayores a las minicentrales, es que se prioricen los contratos del tipo llave en mano.

## 1.5 Diseñando un proyecto de central hidroeléctrica

Técnicamente, hablar de un proyecto de una central hidroeléctrica es hablar de un conjunto de documentos, los cuales contienen tanto las memorias de los cálculos, como la descripción de los resultados, incluyendo cuadros explicativos y otros elementos que permitan verificar la veracidad de los datos y los métodos utilizados. Cada sección generalmente se presenta en un documento de al menos un volumen, la mayoría de los estudios, requieren de planos minuciosos (caso de obras civiles, equipos y redes), de modo que cada volumen contiene también los correspondientes planos de detalle.

- a) Estudios de mercado (demanda)
- b) Estudios geológicos
- c) Estudio hidrológico
- d) Obras civiles: dimensionamiento de obras civiles y cálculo detallado de las dimensiones físicas de cada uno de los componentes antes mencionados (bocatoma, canal, desarenadores, cámara de carga, casa de fuerza, canal de descarga), obras complementarias de carretera de acceso, campamento, etc.
- e) Equipo electromecánico (incluye las características técnicas de cada una de las máquinas y equipos auxiliares)

- f) Redes primarias (generalmente en media o alta tensión)
- g) Redes secundarias

## 1.6 Potencia de diseño de una mini/microcentral hidroeléctrica

La estimación de la potencia de diseño de una pequeña central hidroeléctrica se hace en base a la demanda y a la evaluación de los recursos hidroenergéticos existentes, aspecto que no es objeto de la presente publicación por existir suficiente bibliografía sobre el tema.

Los dos parámetros más importantes para la generación de energía eléctrica son el caudal ( $Q$ ) y la altura ( $H$ ). Una manera rápida de estimar la potencia de una central hidroeléctrica es utilizando la siguiente ecuación

$$P = kQH$$

Donde:

$P$  = potencia de la central hidroeléctrica (kW)

$K$  = factor que incluye el efecto de los parámetros de densidad del agua, gravedad y eficiencia

$$k = \gamma \cdot \eta_p \cdot \eta_t \cdot \eta_g$$

$\gamma$ , peso específico del agua

$\eta_p$ , eficiencia de la tubería

$\eta_t$ , eficiencia de la turbina (incluye eficiencia del sistema de transmisión)

$\eta_g$ , eficiencia del generador eléctrico

$H$ , altura bruta medida o estimada (m)

$Q$ , caudal ( $m^3/s$ )

Para estas estimaciones rápidas se utilizan valores de  $k$  promedios, los cuales generalmente difieren ligeramente según el tamaño de la central y el tipo de turbina, ver tabla 1.

| TABLA 1. VALORES TÍPICOS DE K |              |
|-------------------------------|--------------|
| Rango de potencia             | Valores de k |
| Picocentrales                 | 3.5 - 5.0    |
| Microcentrales                | 5.0 - 6.5    |
| Minicentrales                 | 6.0 - 7.0    |
| Pequeñas, rangos mayores      | 7.0 - 7.5    |

El rango de potencias corresponde a la clasificación de las centrales hidroeléctricas. Hasta hace una década, esta clasificación comprendía los rangos de micro, mini, pequeñas, medianas y grandes centrales hidroeléctricas, en la actualidad se ha incrementado un rango adicional de pico turbinas que abarcan el conjunto de máquinas más pequeñas posibles

de construir. Internacionalmente hay dos estándares, aquel utilizado por los europeos y norteamericanos y el de OLADE (Organización Latinoamericana de Energía).

| TABLA 2. CLASIFICACIÓN SEGÚN RANGOS DE POTENCIA |                  |                    |
|---|------------------|--------------------|
| Clasificación por rango de potencia             | Según OLADE      | Para EEUU y Europa |
| Picocentrales                                   | Hasta 5 kW       | Hasta 10 kW        |
| Microcentrales                                  | 5 kW - 50 kW     | 10 kW-100 kW       |
| Minicentrales                                   | 50 kW- 500 kW    | 100 kW – 1 MW      |
| Pequeñas centrales                              | 500 kW – 5 MW    | 1 MW – 10 MW       |
| Medianas centrales                              | 5 MW – 50 MW     | 10 MW –100 MW      |
| Grandes centrales                               | Mayores de 50 MW | Mayores de 100 MW  |

Una tubería que tenga un buen acabado interno con poca rugosidad permite un flujo más eficiente y por tanto menos pérdidas en esta, en esto influye también el tipo de material, por ejemplo en los rangos más pequeñas se utilizan tuberías de plástico, las cuales son altamente eficientes comparadas con las tuberías de acero. Las turbinas tienen también una determinada eficiencia, dependiendo del acabado, proceso de fabricación y también del modelo y tamaño de las máquinas. Factores similares, influyen en la eficiencia propia del generador eléctrico.

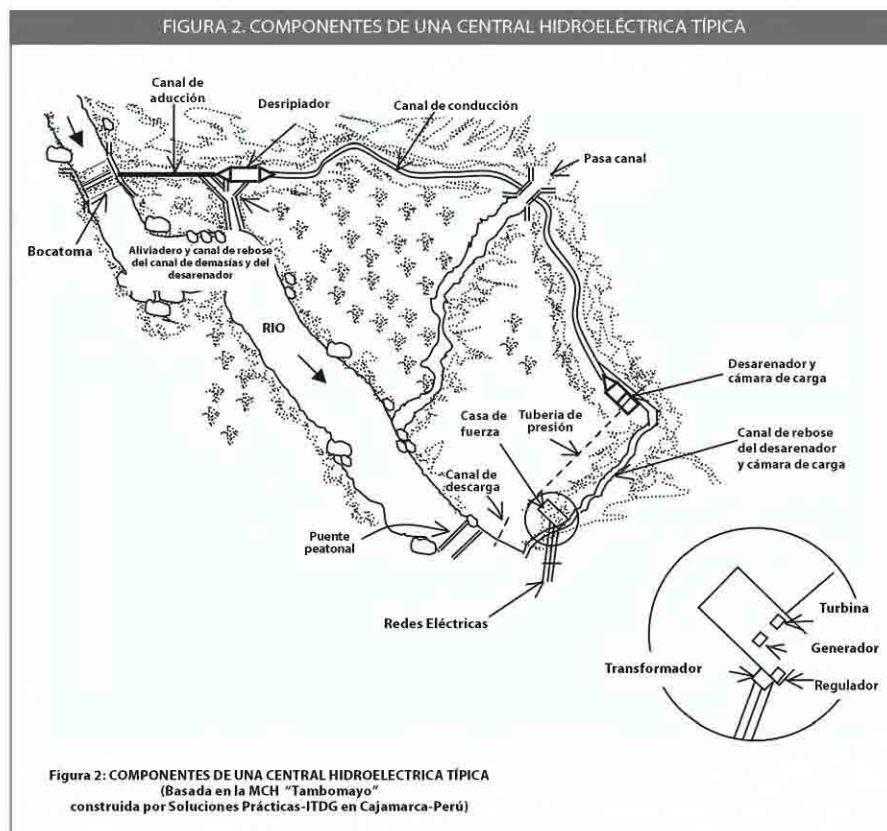
De modo que cuando se hace la selección de las máquinas para la central se debe tener en cuenta también la calidad de fabricación y la trayectoria de los fabricantes además del tipo de turbina que se selecciona, de lo contrario se corre ciertos riesgos que son innecesarios.

## 1.7 Componentes de una mini / microcentral hidroeléctrica

En las grandes centrales, el reservorio es un componente importante y sirve para regular y utilizar el recurso hidráulico durante todo el año, en centrales hidroeléctricas pequeñas, este elemento por lo general no se utiliza, salvo casos excepcionales donde el costo de esta estructura justifica la inversión. Por consiguiente los principales elementos de las pequeñas centrales hidroeléctricas son:

- Bocatoma
- Canal de aducción
- Desarenador
- Canal de conducción
- Desarenador
- Cámara de carga
- Tubería de presión
- Casa de fuerza: turbina, generador, regulador
- Canal de descarga
- Redes eléctricas: de transmisión, de distribución

Las redes eléctricas corresponden a obras de ingeniería eléctrica convencional, por lo que no serán tratadas en el presente texto.



Fuente: Rodríguez y Sánchez

De modo similar, se acostumbra analizar a la central hidroeléctrica según los siguientes componentes: Obras civiles, Equipo electromecánico, Redes eléctricas, y Gestión del sistema en operación. Desde ese enfoque, en este manual se tratan principalmente los dos primeros componentes.

# Potencial hidroeléctrico del Perú

# 2

En el Perú existe un potencial energético elevado basado en el recurso agua, el cual es posible de ser aprovechado mediante la instalación de centrales hidroeléctricas. Las condiciones determinantes de este potencial son esencialmente dos: la disponibilidad de agua, especialmente en las vertientes orientales y los desniveles existentes en las vertientes andinas,

El potencial hidroenergético se mide de dos formas:

- a) El potencial teórico: Mide los recursos de una cuenca en forma hipotética, tal como se presentan en la naturaleza y sin calcular las obras que se necesitarían para su aprovechamiento. Se considera solo el agua disponible y el desnivel existente.
- B) El potencial técnico: Mide los recursos de acuerdo a los usos existentes y los que son susceptibles de instalación, fijando el costo de la potencia unitaria instalada. Según los estudios hechos en 1979 el Perú cuenta con un potencial teórico total de 206 107 MW y un potencial técnico de 58 346.4 MW, que constituye el potencial realmente explotable.

El potencial técnico nacional se concentra en la vertiente del Atlántico (vertientes orientales andinas) en un 78.4% (45 741.7 MW). Esto nos indica que la zona de la selva alta y los valles interandinos de esa vertiente tiene una enorme potencial para la generación de energía eléctrica.

TABLA 3. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO DEL PERÚ

| VERTIENTE             | POTENCIA HIDROELÉCTRICA INSTALADA |            | POTENCIAL HIDROELÉCTRICO NACIONAL |                 |            | RELACIÓN INSTALADA vs. POTENCIAL % |
|-----------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|-----------------|------------|------------------------------------|
|                       | kW                                | %          | Teórico MW                        | Técnico MW      | %          |                                    |
| Pacífico              | 835 709                           | 36.9       | 29 256.5                          | 12 604.7        | 21.6       | 6.63                               |
| Atlántico             | 1 425 448                         | 63         | 176 286.5                         | 45 741.7        | 78.4       | 3.12                               |
| Titicaca              | 352                               | 0.1        | 564                               | -               | -          | -                                  |
| <b>TOTAL NACIONAL</b> | <b>2 261 509</b>                  | <b>100</b> | <b>206 106</b>                    | <b>58 348.4</b> | <b>100</b> | <b>3.88</b>                        |

El potencial hidroeléctrico se halla distribuido en las siguientes zonas hidrográficas:

EN LA VERTIENTE ORIENTAL

- ✓ La hidroeléctrica del Mantaro, que genera cerca del 63% de la energía nacional
- ✓ Machupicchu, en el valle del Urubamba
- ✓ Carpapata, en el río Tarma
- ✓ Yaupi, en el río Paucartambo (Pasco)
- ✓ Sandia, en Puno

EN LA VERTIENTE OCCIDENTAL

- ✓ Hidroeléctrica de Huampaní, Moyupampa, Matucana, Barbablanca y Huinco en la cuenca del Rímac
- ✓ Cañón del Pato, en el río Santa
- ✓ Charcani, en Arequipa
- ✓ Gallito Ciego, en el río Jequetepeque

Considerando que la potencia instalada actual llega a 3 000 MW (3 000 000 KW), la capacidad disponible supera los 58 000 MW. Es decir que se emplea apenas el 5% del potencial técnico. Cerca del 50% del potencial técnico se encuentra ubicado en los departamentos de Cajamarca, Apurímac, Junín y Huánuco.

El país cuenta con un potencial suficiente para sus necesidades energéticas a muy largo plazo, y ciertas regiones tienen una alta vocación para desarrollar su capacidad hidroenergética. Sin embargo, desde hoy deberían tomarse algunas medidas para no comprometer este potencial en el futuro:

- ▶ Conservar las cuencas altas de los ríos con mayor potencial
- ▶ Las zonas donde se aprovecha el potencial hidroenergético deben recibir una retribución o ingreso para disponer de fondos para manejar las cuencas y conservar el recurso hídrico
- ▶ Los costos de producción de energía deben incluir los costos de manejo de la cuenca

En las zonas rurales, donde se dispone de agua suficiente y existe un desnivel adecuado de al menos 4 m, es posible instalar pequeñas plantas de generación hidroeléctricas para mover máquinas y obtener energía eléctrica (mini/microcentrales hidroeléctricas).

## Evaluación de recursos para mini/microcentrales hidroeléctricas

# 3

La evaluación de recursos hidroenergéticos generalmente se hace en dos etapas, una etapa preliminar, que se hace utilizando mapas hidrográficos y datos meteorológicos, que permiten una primera estimación del potencial sin la necesidad de hacer visita de campo y que permite evaluar la existencia y preliminarmente la potencia; y una segunda etapa denominada evaluación definitiva que consiste en la toma de datos de campo con visitas al lugar y mediciones de altura y evaluaciones de caudal utilizando métodos estadísticos de evaluación de la descarga de ríos, que se verá en el capítulo 4.

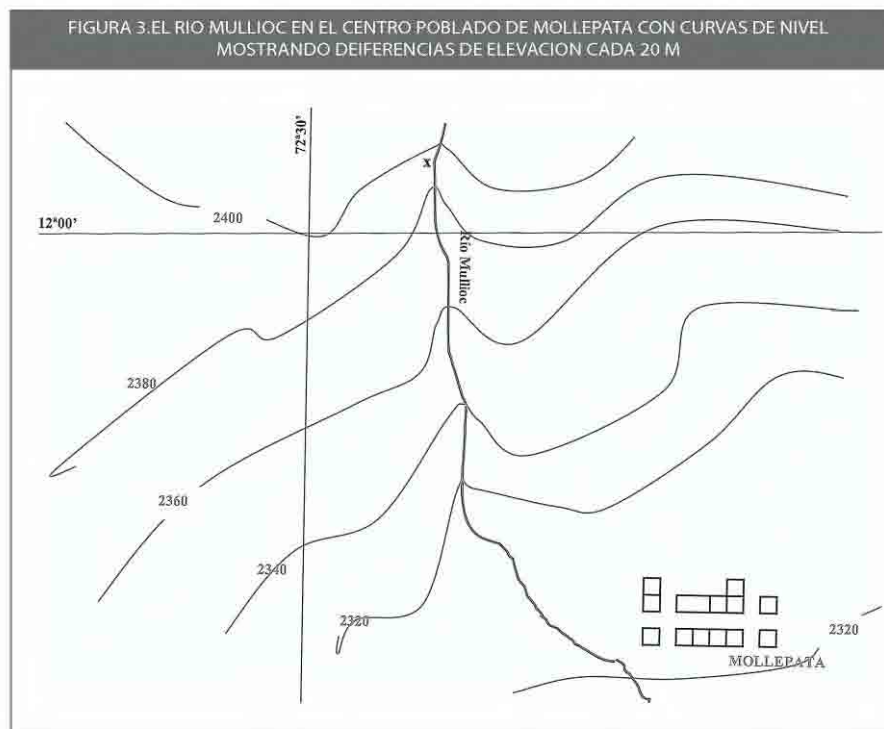
En la actualidad la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas (MEM) cuenta con un sistema de información geográfica (GIS) en su página web, donde se puede obtener la evaluación preliminar de los recursos hidroenergéticos, optimizando así la utilización de los mapas.

Generalmente los mapas son cartas que nos dan información georeferencial importante para diferentes proyectos que se requiere realizar, por ejemplo ubicación de lugares poblados de diferente densidad poblacional (ciudades, distritos, centros poblados, caseríos), infraestructura vial (caminos, trochas, puentes, aeropuertos), límites entre lugares poblados, relieve (niveles, depresiones escarpadas), drenaje (ríos, quebradas, acequias, lagunas), infraestructura hidráulica (diques, represas, canales), vegetación (bosques, parques de reserva, ausencia de vegetación), etc. dibujados a escala y editados por instituciones del estado como el Instituto Geográfico Nacional (IGN), en el caso del Perú.

La escala en que son publicadas es 1:100 000. Esto significa que 1 cm en el plano, equivale a 1 000 m en el terreno. Para trabajo de oficina, esta escala puede ser ampliada.

Para el estudio de las microcentrales hidroeléctricas, los mapas nos proporcionan información preliminar de la ubicación del río o quebrada del que se piensa aprovechar el agua para la generación de energía, así como también la zona donde se ubicarán sus diferentes componentes: bocatoma, canal, desarenador, cámara de carga, casa de máquinas, canal de descarga, el recorrido de la línea de transmisión, y en particular para determinar el área y forma de la cuenca que involucra al río o quebrada seleccionado para el estudio hidrológico. Ver figura 3.

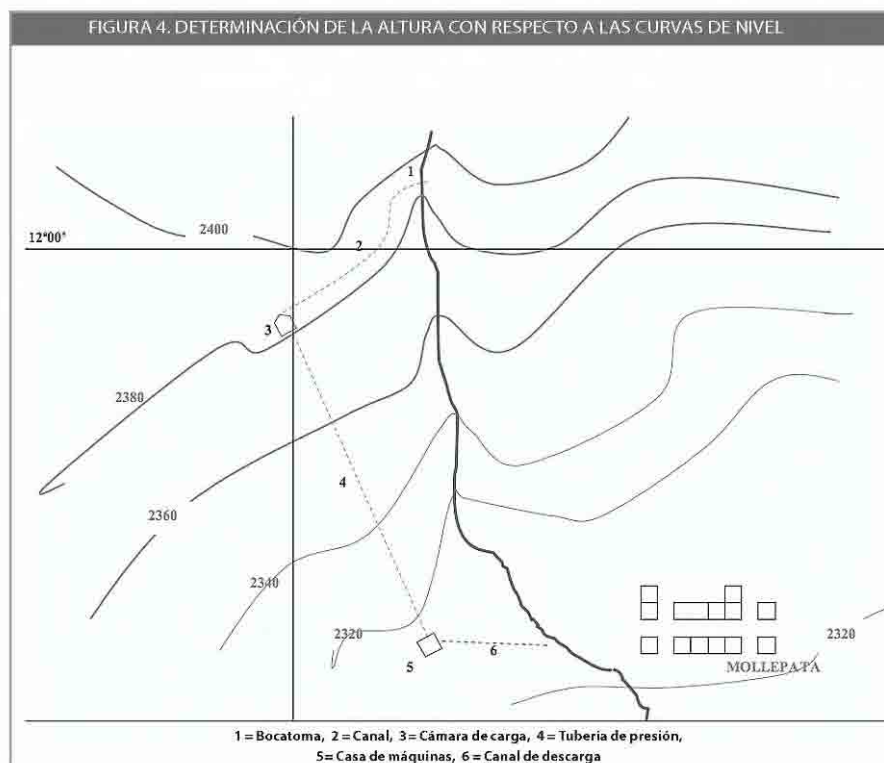




La figura 3 representa una parte del mapa o carta nacional con escala ampliada, donde se puede apreciar el río Mulliioç, el centro poblado de Mollepata, curvas a nivel cada 20 m de desnivel y que por referencias preliminares se puede captar el río en el punto x y las obras civiles se instalarán a la margen derecha.

### 3.1 Evaluación de la altura

Tomando como base la figura 3 y los datos preliminares, se esboza el canal, la cámara de carga, la tubería de presión y la casa de máquinas tal como se indica en la figura 4.

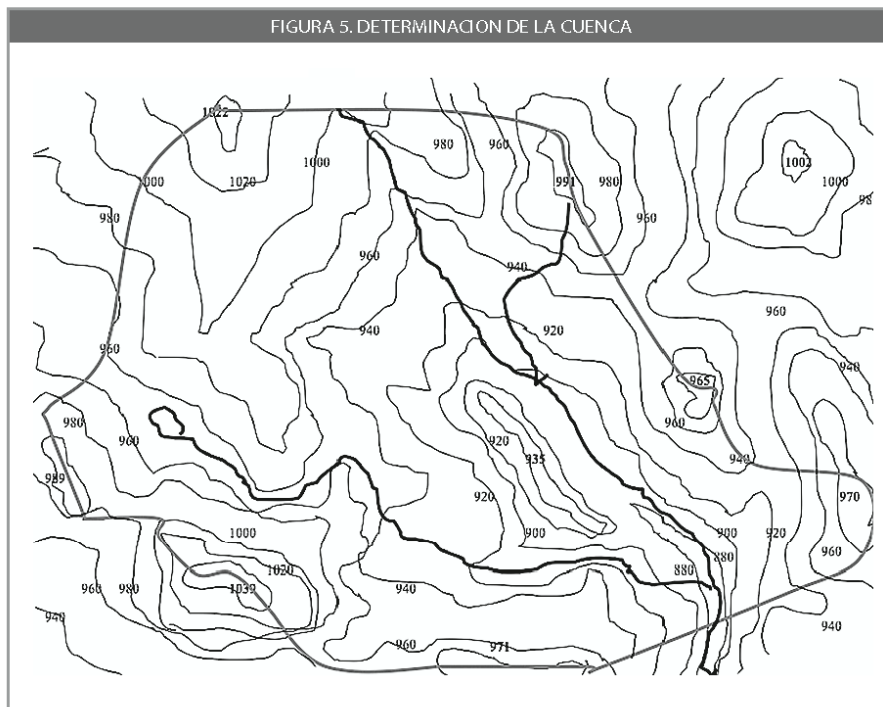


La altura que se requiere determinar en el mapa, lo conseguimos siguiendo los siguientes pasos:

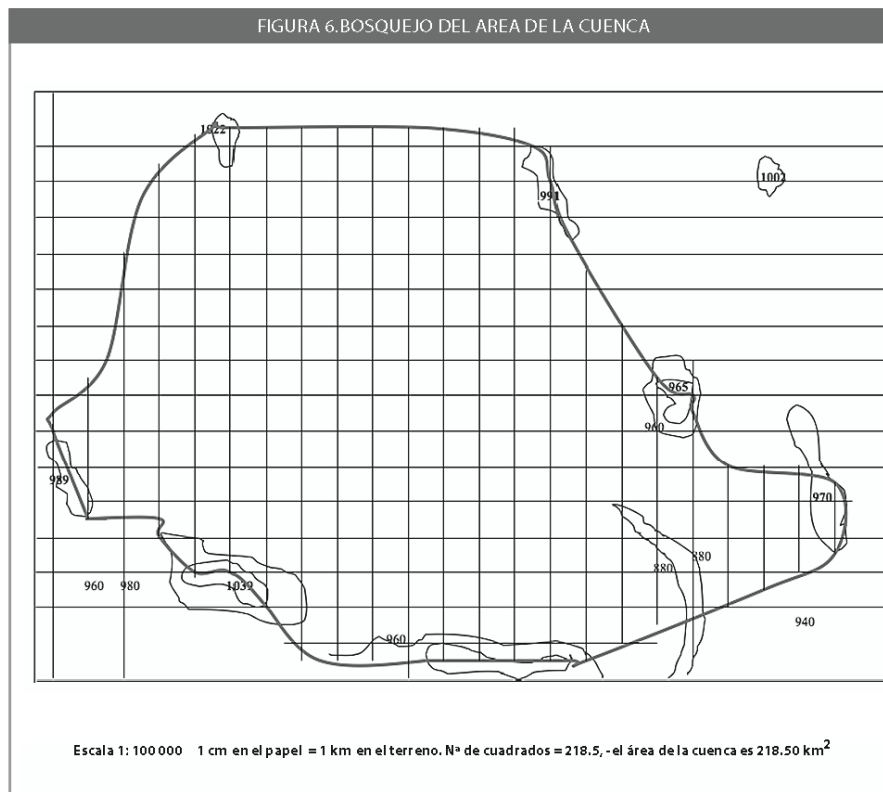
- Ubicar la bocatoma y anotar la cota aproximada según las curvas de nivel del mapa. Supongamos que la cota es 2385.00 msnm.
- Trazar el canal, teniendo en cuenta la longitud y la pendiente, para tener un valor de altura que disminuye con respecto a la bocatoma. La longitud del canal según el trazo realizado en el mapa lo obtenemos, conociendo la escala del mapa. Supongamos que la escala es 1:5000, significa que un cm en el papel es igual 50 m en el terreno. Si el canal en el mapa, mide 4.89 cm, entonces su longitud en el terreno, será de  $4.89 \times 50 = 244.50$  m. Si consideramos que la pendiente del canal será no más del 3 por mil, entonces el desnivel entre la bocatoma y la cámara de carga es:  $244.5 \times 0.003 = 0.7335$  m. Por razones prácticas podemos considerar que es 1.00 m. Entonces la cota referencial de la cámara de carga será:  $2385.00 - 1.00 = 2384$  msnm.
- La altura aprovechable y referencial que determinamos preliminarmente en el mapa, será el desnivel entre la cota de la cámara de carga y la casa de máquinas. La casa de máquinas está muy cerca de la curva de nivel 2320.00. Entonces:  $H = 2384.00 - 2320 = 64.00$  m.
- Se recomienda que la tubería de presión, tanto en el mapa, como en el terreno, debe seguir a partir de la cámara de carga hacia la casa de máquinas un trazo recto siguiendo la parte convexa de las curvas a nivel.

### 3.2 Evaluación del área de captación

Consiste en determinar el área de la cuenca, donde se encuentra el río o quebrada, y con otros parámetros climatológicos (humedad, temperatura, precipitación, evaporación, evaporización, etc), escurrimiento, el hidrólogo determina el máximo y mínimo caudal probable del río. El máximo caudal conocido como el caudal de máxima avenida es muy importante conocer, por que nos permite diseñar los elementos de la bocatoma (muros de encauzamiento, vertedero, ventana de captación, canal de admisión) de tal manera que dichas estructuras sean estables y funcionen normalmente. El mínimo caudal, corresponde a la temporada de estiaje severo y este caudal ayuda a decidir el caudal mínimo de captación para que la mini/ microcentral hidroeléctrica funcione permanentemente todo el año. Ver figura 5.



El trazo del área de la cuenca, se hace en un mapa que tiene curvas a nivel. Consiste en dibujar el límite de la cuenca, pasando el marcador por las curvas de nivel más altas al nacimiento del río o quebrada por donde el agua de lluvia escurre hacia la cuenca en estudio. Luego se hace un cuadrículado del área limitada, teniendo en cuenta la escala del plano, luego contamos el número de cuadrados y de acuerdo a la escala del plano se expresa en  $\text{km}^2$ .

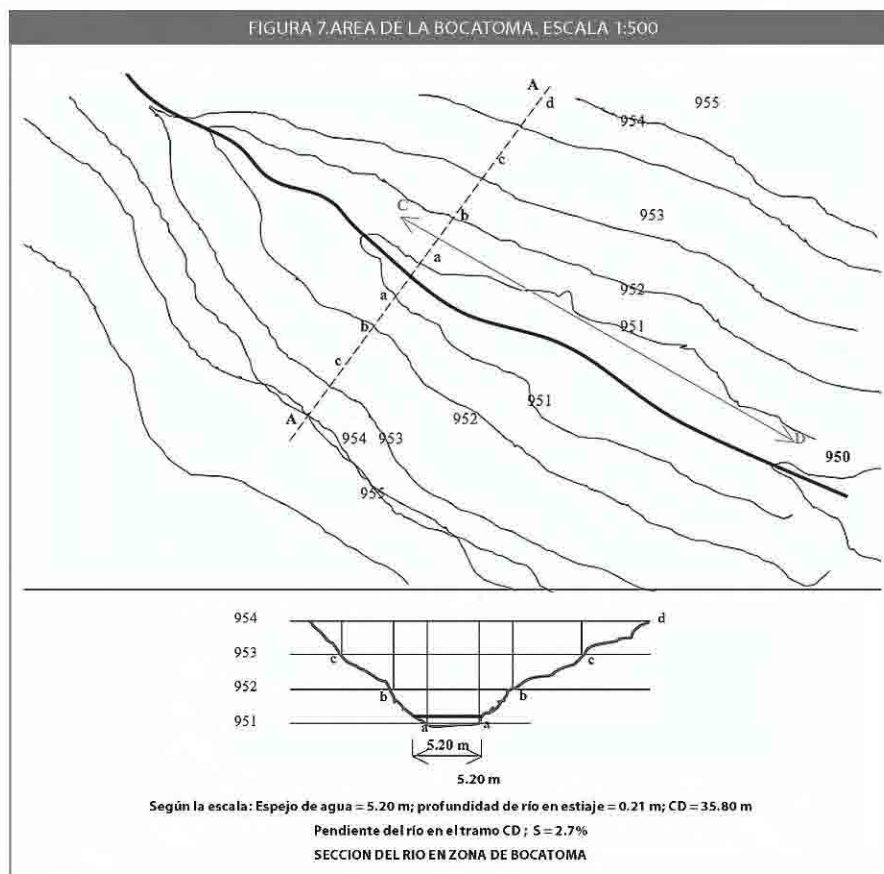


Existen varios métodos para elaborar el estudio hidrológico. Por ejemplo el método de la National Rural Electric Cooperative Association (NRECA) de los EE.UU., utiliza datos de precipitación y evapotranspiración potencial mensual. Determina tres parámetros que caracterizan a la cuenca en estudio denominados: (a) Nominal (indicador de la capacidad que tiene el terreno para almacenar agua y determina cantidades que escurre en forma directa o subterránea); (b) Psub (fracción del escurrimiento que se mueve como flujo subterráneo, y (c) GWF (fracción del volumen total de agua almacenada en el subsuelo que llega al río durante todo el año). La permeabilidad de los suelos también es un aspecto muy importante. Después de las pautas y secuencia de cálculo que recomienda se obtiene el escurrimiento total en mm/mes. Este valor se multiplica por el área de la cuenca que puede estar en m<sup>2</sup>, entonces fácilmente se convertirá en m<sup>3</sup>/s como el caudal de dicho mes en estudio. El estudio se hará por lo menos una vez al mes a lo largo del año.

Este método requiere de mucha información que se haya registrado en estaciones ubicadas en la cuenca en estudio, pero casi en todos los casos de las microcentrales hidroeléctricas no se cuentan con datos registrados por falta de dichas estaciones. El hidrólogo, aplica otro método denominado de las cuencas similares o equivalentes en cuanto a condiciones de suelo, clima, escurrimiento, altitud, etc. que si tienen datos registrados de por lo menos 20 años atrás. En ambos casos los métodos son basados en probabilidades que tratan de obtener resultados confiables.

### 3.3 Cálculo de la descarga (estación seca)

Consiste en obtener en el tramo del río, donde va a ser la bocatoma una sección del río, la pendiente, asumir una profundidad del agua en tiempo de estiaje y hallar la descarga.



Según los datos aproximados del mapa y la sección obtenida del río.

$$Q = 5.20 \text{ m} \times 0.21 \text{ m} \times 0.60 \text{ m/s} = 0.655 \text{ m}^3/\text{s}$$

Estos datos, que pueden obtenerse del mapa, serán comprobados o modificados de acuerdo a la evaluación que se haga directamente en el lugar.

## 3.4 Estimación de la demanda y del potencial de suministro eléctrico

### 3.4.1 Demanda de electricidad de las áreas rurales

a) Estimación de la demanda actual:

La demanda actual se puede estimar mediante la siguiente tabla:

| TABLA 4. DEMANDA ACTUAL PARA DISTINTAS POBLACIONES |                     |
|--|---------------------|
| POBLACIONES (HABITANTES)                           | DEMANDA DE POTENCIA |
| 500 – 1 000  | 15 kW – 35 kW       |
| 1 000 – 2 000                                      | 35 kW – 80 kW       |
| 2 000 – 4 000                                      | 80 kW – 180 kW      |
| 4 000 – 10 000                                     | 180 kW – 500 kW     |
| 10 000 – 20 000                                    | 500 kW – 1.200 kW   |

Se ha supuesto que la potencia instalada sea de 30 a 60 w por habitante. En primer lugar, se considera la demanda actual proporcionada por la tabla 4 en función del número de habitantes. En segundo lugar, se corrige dicha demanda de acuerdo al nivel de vida social y a las demandas especiales, tales como aquellas para las minas, las industrias y la agricultura.

b) Estimación de la demanda futura:

Se calcula la demanda para un periodo futuro de 20 años. La tasa de incremento de la demanda de energía eléctrica se puede estimar en un 2% - 5% anual, según las características del crecimiento anual de población, el nivel de vida social y los proyectos de desarrollo de la zona en estudio.

c) Ejemplo:

Caso de la demanda de un centro urbano de 750 habitantes.

$$\text{Demanda actual} = \frac{15 + 35}{2} = 25 \text{ kW}$$

Crecimiento anual de la demanda de energía 4%

Demanda para un futuro de 20 años  $25 \text{ kW} \times (1 + 0.04)^{20} = 55 \text{ kW}$

### 3.4.2 Comparación entre la generación eléctrica y la demanda de energía

La generación de energía debe ser igual a la demanda proyectada, es decir, la demanda para un futuro de 20 años. En el ejemplo anterior se determinó que la potencia para 20 años era de 55 kW, por lo tanto la generación de energía debe ser igual a 55 kW.

## 3.5 Estudio de las áreas rurales a electrificar

### Generalidades

El suministro de energía depende, en general, de los recursos que se dispongan en la zona donde se pretende entregar el abastecimiento. Estos recursos se refieren tanto a los recursos energéticos de la zona en estudio, como la capacidad económica que ésta tenga para la adquisición de fuentes energéticas.

En el caso específico del abastecimiento de electricidad, éste se puede efectuar mediante la conexión a la red convencional de distribución eléctrica, en caso de que existiera, sistemas de autogeneración con sistemas no convencionales (energía fotovoltaica, eólica o energía hidráulica), o bien grupos electrógenos. En la mayoría de los casos es necesario disponer de un sistema de transmisión-distribución que permita transportar la energía eléctrica desde el sistema de generación hasta los usuarios.

El estudio se realizará utilizando fundamentalmente datos estadísticos provenientes preferentemente del último censo nacional, lo que permite presumir que los datos correspondientes sean todavía relativamente actuales y que sean comparables entre sí para cualquier sitio del territorio nacional.

En algunos temas puntuales, sobre todo los referentes a la zona meta y a las comunidades preseleccionadas, se recurrirá a entrevistas con funcionarios de diferentes instituciones estatales relacionados con información censal, estadísticas, electricidad, etc. Además, se realizarán entrevistas con algunos referentes de ONG que operan en la zona meta, tanto del ámbito ambientalista como indigenista y visitas a la misma en el marco del proceso de recaudación de información.

### 3.5.1. Determinación del área de influencia

- a. Mención de la región, provincia, distrito y localidades beneficiadas e indicación de su ubicación, se recomienda la georeferenciación mediante coordenadas UTM (GPS).
- b. Mapa de ubicación del área de influencia del proyecto en mapa de carta nacional.

- c. Descripción de las características económicas, productivas, sociales, del relieve del suelo y climáticas del área de influencia del proyecto; vías de acceso, número de viviendas por localidad, fuentes alternativas de energía usadas, prospección de posibles usos productivos de energía.

### 3.5.2. Metodología para la selección de comunidades

El proceso de preselección de las comunidades meta se realizará en tres etapas analizando los indicadores objetivamente verificables y cuantificables relacionados con los aspectos vinculados con los principales objetivos del Proyecto de Electrificación Rural Sostenible y cuyos valores sean disponibles para todo el país y comparables entre sí.

En cada etapa se selecciona en principio la zona con la sumatoria de los indicadores más desfavorables respectivamente relevantes. En la primera etapa se seleccionara una región del país. Para el efecto se comparara los indicadores seleccionados de los Departamentos entre sí. Para la segunda etapa se analizara solamente el Departamento con la suma de los indicadores más desfavorables respectivamente relevante para realizar el mismo procedimiento con los Distritos que conforman dicho Departamento. En la tercera etapa se eligieran las comunidades analizando criterios más específicos en relación con el proyecto.

#### (1) Indicadores de comparación para la selección de la zona meta

##### SELECCIÓN DE INDICADORES

Los indicadores a ser utilizados deberían reflejar lo mejor posible los aspectos, sobre los cuales el proyecto estará enfocado, es decir la "ruralidad" de la zona meta, el aspecto indígena, la situación energética, el nivel de desarrollo humano, el nivel de educación, el nivel económico de la población y la igualdad de género.

Para las dos primeras etapas del proceso se seleccionaron siete indicadores, que a nuestro juicio son los más relevantes para cubrir los mencionados aspectos y sobre los cuales existen datos suficientes, objetivos y coherentes de todo el país, que son:

- a) **Porcentaje de la población rural:** Es la relación entre la población viviendo en zona rural y la población total en por ciento.
- b) **Porcentaje de la población indígena:** Es la relación entre la población indígena y la población total de la misma zona en por ciento.
- c) **Porcentaje de las viviendas rurales sin electricidad:** Es la relación entre la cantidad de las viviendas rurales que no cuentan con energía eléctrica y la totalidad de las viviendas rurales de la misma zona en por ciento. Este dato fue determinado a base de las indicaciones en el Censo sobre las fuentes de iluminación en las viviendas.
- d) **Porcentaje de la población con por lo menos una Necesidad Básica Insatisfecha:** Es la relación entre la población con por lo menos una Necesidad Básica Insatisfecha (NBI) y la población total de la misma zona en por ciento. Se consideran en total 4 NBI, es decir en calidad de vivienda, en infraestructura sanitaria, en acceso a la educación y en capacidad de subsistencia.



- e) **Índice de Desarrollo Humano:** El Índice de Desarrollo Humano (IDH) es un índice compuesto que mide el promedio de los avances en las tres dimensiones básicas del desarrollo humano que lo componen, a saber una vida larga y saludable, conocimientos y un nivel de vida digno. El índice se calcula a partir de la esperanza de vida al nacer, la tasa de alfabetización de adultos, la combinación de las tasas brutas de matriculación en las escuelas primarias, secundarias y terciarias y el producto interno bruto per cápita. Su máximo valor posible es de 1 y el mínimo de 0. Valores por debajo de 0.5 son considerados de nivel bajo, entre 0.5 y 0.8 de nivel medio y por encima de 0.8 de nivel alto.
- f) **Índice de Desarrollo relativo Género:** El Índice de Desarrollo relativo al Género igual que el IDH es un índice compuesto que mide la desigualdad promedio entre hombres y mujeres en tres dimensiones básicas que componen el IDH ajustado para reflejar las desigualdades entre hombres y mujeres. Su máximo valor posible es de 1 y el mínimo de 0 y valen los mismos límites para su valorización que en el IDH.
- g) **Porcentaje de personas que vive en pobreza:** Es la relación entre la población que vive en pobreza y la población total de la misma zona en porcentaje. La definición del límite de pobreza está relacionada con el costo de la canasta familiar básica calculado periódicamente por la entidad respectiva.

## (2) Establecimiento del escalafón para la definición de la zona meta

Para establecer el escalafón de las zonas a electrificar se procede de la siguiente manera:

- a) A cada zona que tenga el valor más elevado en los porcentajes y el valor más bajo en los índices del indicador correspondiente se le otorgará 3 puntos.
- b) Para la zona con el segundo valor más elevado respectivamente más bajo del indicador correspondiente se le computaran 2 puntos y para el tercer valor 1 punto.
- c) Las demás zonas no reciban ningún punto. Es considerado como zona seleccionada aquella que tiene el máximo puntaje sumando las unidades de los 7 indicadores.

## (3) Indicadores de comparación para la selección de la comunidad meta

Los indicadores que permitirán preseleccionar en primera instancia 3 comunidades entre todas las existentes en el Distrito meta y en segunda instancia la comunidad meta entre las tres preseleccionadas deberán por un lado reflejar directamente las exigencias relacionadas con los objetivos y la factibilidad del Proyecto y por otro lado ser objetivamente verificables.

En la tabla 5 se presenta una serie de indicadores de tipo técnico, jurídico, social y económico, que cumplen con esta exigencia y que han sido utilizados para el proceso de selección. Se distinguen principalmente dos tipos de indicadores de punto de vista de su influencia en la selección.

- a) El primer tipo puede ser denominado categórico, es decir que su respuesta es sí o no, respectivamente existente o no existente. Entre esta categoría algunos indicadores son excluyentes para la selección de la comunidad, cuando no cumplen con el criterio de selección.

- b) El segundo tipo de indicador podría ser denominado relativo, lo que significa que su respuesta es un valor numérico, que puede ser absoluto o relativo, o una calificación relativa de la calidad de una situación. Para el criterio de selección se establece, cuales son los rangos de valores de preferencia para la selección de la comunidad. Puede ser establecido también un límite mínimo o máximo para la exclusión de la comunidad.

| TABLA 5. CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA COMUNIDADES META |  |  |
|---|--|--|
| PARÁMETRO   | INDICADOR  | CRITERIO DE SELECCIÓN                            |
| <b>Infraestructura eléctrica</b>                      | Existencia de red eléctrica                                  | no existente (excluyente)                        |
|   | Existencia de planes para electrificación por red            | no existente (excluyente)                        |
|   | Distancia de la red eléctrica existente                      | mayor distancia mejor, mínimo 25 km (excluyente) |
| <b>Acceso terrestre o acuático</b>                    | Existencia de acceso terrestre o acuático                    | existente (excluyente)                           |
|   | Calidad del acceso vial                                      | transitabilidad +/- todo el año (excluyente)     |
| <b>Situación jurídica</b>                             | Personería jurídica (solo para comunidades indígenas)        | existente o en trámite (excluyente)              |
|   | Tenencia de tierra   | propia o perteneciente al otros, (excluyente)    |
| <b>Organización comunitaria</b>                       | Existencia de organizaciones comunitarias                    | existente o en formación                         |
|   | Consolidación de las organizaciones comunitarias             | más consolidado mejor                            |
| <b>Conflictos internos o con vecinos</b>              | Existencia de conflictos importantes                         | no existentes (excluyente)                       |
| <b>Población</b>                                      | Cantidad de habitantes                                       | mínimo de 250 habitantes (excluyente)            |
| <b>Indígenas</b>                                      | Porcentaje de población indígena                             | mayor porcentaje mejor                           |
| <b>Participación de la mujer</b>                      | Grado de participación en decisiones comunitarias            | mayor grado mejor                                |
|   | Existencia de grupos de mujeres                              | existente o en formación                         |
| <b>Nivel de pobreza</b>                               | Ingreso familiar   | menos ingreso mejor                              |
| <b>Pago por servicios públicos</b>                    | Disponibilidad de pago por futuro servicio energético        | mayor disponibilidad mejor                       |
| <b>Actividad económica</b>                            | Porcentaje de población económicamente activa                | mayor porcentaje mejor                           |
| <b>Potencial productivo primario</b>                  | Superficie de tierra por familia                             | mayor superficie mejor                           |
| <b>Participación de la mujer</b>                      | Existencia de actividades productivas realizadas por mujeres | mayor cantidad de actividades existentes mejor   |
| <b>Cooperación interinstitucional</b>                 | Existencia de instituciones cooperantes                      | mayor cantidad existentes Mejor                  |

### 3.5.3. Definición de la región meta

De acuerdo a la metodología descrita en el capítulo 2, se analizarán los siete indicadores seleccionados para las zonas del sector.

## 3.6 Calculando la potencia generada por las mini/ microcentrales hidroeléctricas (capacidad instalada)

Después de la obtención de datos basados en las curvas de nivel para la obtención de la altura, y la delimitación de las cuencas para obtener el caudal de descarga, con estos datos se realiza un cálculo preliminar de la generación de energía para las mini/ microcentrales hidroeléctricas utilizando para ello la fórmula siguiente:

$$P = kQH$$

Donde

$P$ , es la potencia en kW

$k$ , es una constante que viene a ser el factor de planta y depende de la potencia, del tipo de turbina y su eficiencia, tal como se vio en el ítem 1.6 (tabla 1)

$Q$ , viene a ser el caudal disponible en  $m^3/s$

$H$ , viene a ser el desnivel en m

## 3.7 Selección del equipo electromecánico

Con los datos de altura y caudal, para la fase preliminar, se hace la selección de los componentes del equipo electromecánico los cuales son la turbina, generador y regulador de velocidad.

### 1. Turbinas hidráulicas

Una turbina hidráulica viene a ser una turbomáquina en la cual el trabajo mecánico proviene de la variación de la Cantidad de Movimiento del agua al fluir a través de un sistema de álabes rotativos. En este sistema denominado rodete, puede ocurrir una simple desviación del flujo de agua o, en otros casos una desviación y una aceleración de este flujo.

### (1.1) Clasificación de las turbinas hidráulicas

Las turbinas hidráulicas se pueden clasificar según diferentes criterios:

- a. Según variación de presión estática a través del rodete
  - ▶ Turbinas de acción o impulso, cuando la presión estática permanece constante entre la entrada y la salida del rodete:
    - ✓ Turbinas tipo Pelton de uno o más inyectores
    - ✓ Turbinas Turgo
    - ✓ Turbinas Michell Banki
  - ▶ Turbinas de reacción, cuando la presión estática disminuye entre la entrada y salida del rodete
    - ✓ Bomba rotodinámica operando como turbina
    - ✓ Turbinas Francis, en sus variantes: lenta, normal y rápida
    - ✓ Turbinas Deriaz
    - ✓ Turbinas Kaplan y de hélice
    - ✓ Turbinas axiales, en sus variantes: tubular, bulbo y de generador periférico
- b. Según la dirección del flujo a través del rodete
  - ✓ Turbinas de flujo tangencial
  - ✓ Turbinas de flujo radial
  - ✓ Turbinas de flujo semiaxial
  - ✓ Turbinas de flujo axial
- c. Según el grado de admisión del rodete, considerando la alternativa de que los álabes del rodete estén sometidos parcial o simultáneamente a la acción del flujo de agua:
  - ✓ Turbinas de admisión parcial
  - ✓ Turbinas de admisión total

### (1.2) Partes fundamentales de una turbina hidráulica

#### *Distribuidor:*

Es un elemento estático que adopta diferentes formas según el tipo de turbina cuyas funciones son:

- Acelerar el flujo de agua al transformar total (turbinas de acción) o parcialmente (turbinas de reacción) la energía potencial del agua en energía cinética
- Dirigir el agua hacia el rodete siguiendo una dirección adecuada
- Actuar como un órgano regulador de caudal

#### *Rodete:*

Llamado también rotor o rueda, este elemento es el órgano fundamental de las turbinas hidráulicas. Consta esencialmente de un disco provisto de un sistema de álabes, paletas o cucharas que está animado por una cierta velocidad tangencial.

La transformación de la energía hidráulica del salto, en energía mecánica se produce en el rodete, mediante la aceleración y desviación del flujo de agua a su paso por los álabes.

**Tubo de aspiración:**

Este elemento es muy común en las turbinas de reacción donde se utiliza frecuentemente, y ocasionalmente en las turbinas de acción como las del tipo Michell Banki, donde adopta la forma cilíndrica, se instala a continuación del rodete y por lo general tiene la forma de un conducto divergente; puede ser recto o acodado, y cumple las siguientes funciones:

Recupera la altura entre la salida del rodete y el nivel del canal de desagüe.

Recupera la parte de la energía cinética correspondiente a la velocidad residual del agua en la salida del rodete, a partir de un diseño del tipo difusor.

**Carcasa:**

Este elemento tiene la función principal de cubrir y soportar a las partes de la turbina. En las turbinas Francis y Kaplan por ejemplo tiene la forma de una espiral.

(1.3) Características de las principales turbinas hidráulicas

**Turbina Pelton**

Fue inventada por Lester A. Pelton (EEUU, 1829-1908) y patentada en 1880. Puede definirse como una turbina de acción de flujo tangencial y de admisión parcial. Opera eficientemente en condiciones de grandes saltos y bajos caudales, también en el caso de cargas parciales. El proceso de flujo se realiza a presión atmosférica.

FIGURA 8. TURBINA PELTON CON DOS INYECTORES



**Distribuidor:** está constituido por uno o por varios Inyectores que pueden llegar a seis. Un inyector consta por lo general por una tobera de sección circular provista de una aguja de regulación que se mueve axialmente, variando así la sección de flujo. En el caso que se requiera de una acción de corte rápido de agua, se utilizan los deflectores, que son los encargados de desviar el chorro de agua en dirección distinta de las cucharas. En las turbinas pequeñas para las microcentrales, se puede prescindir de la aguja y operar con una o más toberas a caudal constante.

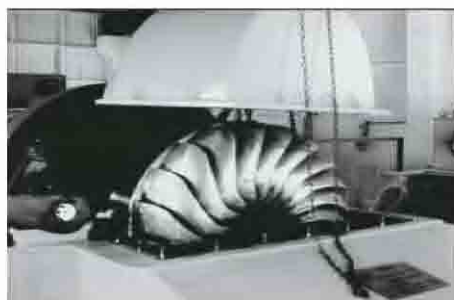
**Rodete:** es de admisión parcial, lo cual depende del número de chorros o de Inyectores. Consta de un disco provisto de una serie de cucharas montadas en su periferia. Las cucharas pueden estar empernadas al disco, unidas por soldadura o fundidas en una sola pieza con el disco. La turbina Pelton puede instalarse con el eje horizontal con uno o dos inyectores y con el eje vertical con 3 a 6 inyectores.



### Turbina Turgo

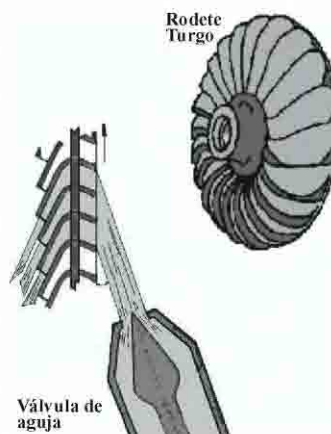
Esta turbina fue inventada por Eric Crewdson (Gran Bretaña) y patentada en 1920. Posteriormente fue perfeccionada por E. Jackson (Gran Bretaña) en 1936 y luego entre 1961 y 1968. Puede definirse como una turbina de acción, de flujo axial y admisión parcial.

FIGURA 9. TURBINA TURGO



**Rodete:** se asemeja a un medio rodete de la turbina Pelton, como si a este se le dividiera mediante un plano que pase por las aristas de las cucharas y sea perpendicular al eje. Es de admisión parcial y puede instalarse con el eje horizontal o vertical. Por lo general se emplea en pequeñas centrales. Si se compara esta turbina con la turbina Pelton, ofrece la ventaja de que, a igualdad de diámetro del rodete, puede operar con un mayor caudal, ya que el chorro de agua ingresa por un lado y sale por el otro. Esta turbina cubre el campo de aplicación de las turbinas Pelton rápidas, michell Banki y Francis lenta y normal. Respecto a la Pelton posee las mismas características: Operación con buena eficiencia a cargas parciales, escaso riesgo de cavitación, pero tiene el inconveniente de un empuje axial.

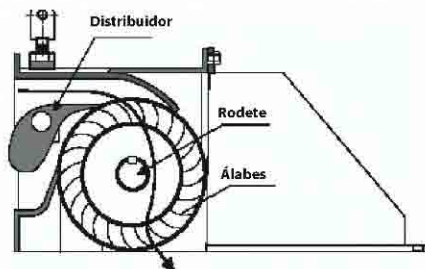
**Distribuidor:** consiste básicamente de un inyector del tipo Pelton que proyecta un chorro de agua inclinado respecto al plano del rodete en un ángulo de 20° a 22.5°.



### Turbina Michell Banki

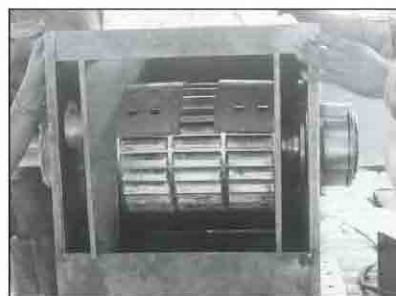
Esta turbina fue inventada por A.G. Michell (Australia) y patentada en 1903. Posteriormente, entre 1917 y 1919, fue estudiada por Donat Banki (Hungría), en la universidad de Budapest. Se trata de una turbina de acción de flujo radial centrípeto-centrífugo, de flujo transversal de doble paso y de admisión parcial. Sin embargo recientes ensayos han indicado que existe una pequeña reacción en el primer paso a causa de una presión ligeramente superior a la atmosférica, debido a la cercanía del inyector al rodete.

FIGURA 10. TURBINA MICHELL BANKI



**Distribuidor:** consiste de una tobera de sección rectangular que abarca al rodete en un cierto ángulo de admisión parcial. Está dotado de una paleta directriz para la regulación del caudal. Se puede operar manual o automáticamente.

**Rodete:** tiene forma de tambor o cilindro y está compuesto por un par de discos entre los cuales se fijan periféricamente una cierta cantidad de álabes de perfil circular y de simple curvatura. Por lo general, los álabes se fijan a los discos mediante soldadura. Para grandes caudales y bajas alturas de instalación, se construyen con discos intermedios. La forma cilíndrica del rodete permite que la turbina pueda trabajar dentro de grandes rangos de variación de caudal con solo darle la longitud conveniente. La característica de la turbina Michell Banki consiste en que un amplio chorro de agua de sección rectangular incide dos veces, cruzando el interior, sobre los álabes del rodete. La diferencia fundamental respecto a otras turbinas es que no hay deflexión axial del chorro, ya que el chorro discurre sobre planos perpendiculares al eje. La turbina opera por lo general a presión atmosférica. No obstante en caso de saltos bajos suele dotarse de un tubo de aspiración cilíndrico para recuperar parte de la altura de montaje. Esto crea una depresión en el interior, por lo que se debe impedir que el



agua inunde el rodete. La eficiencia es buena dentro de un amplio rango de caudal, aunque no muy alta si se le compara con las turbinas Pelton y Francis. Sin embargo debido a su bajo costo y fácil construcción local es una alternativa interesante para las pequeñas centrales.

### Bombas que operan como turbinas

FIGURA 11. BOMBA QUE OPERA COMO TURBINA



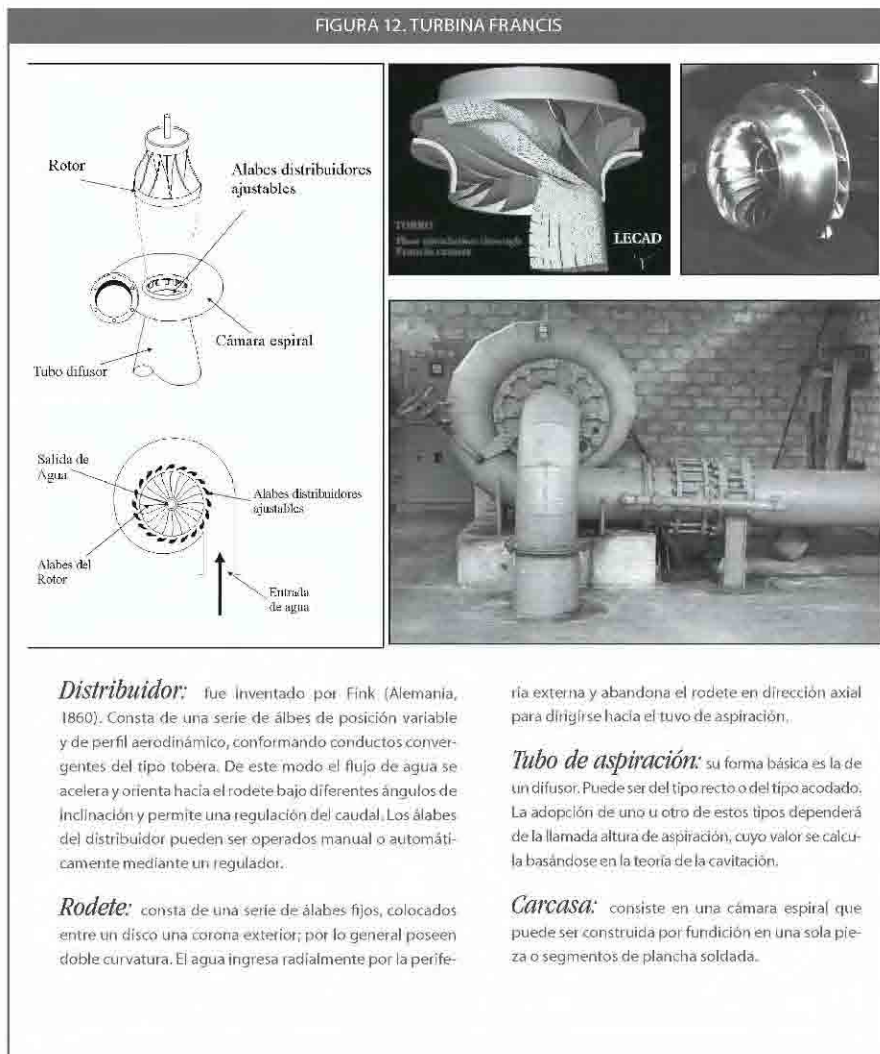
A lo largo de los últimos años se ha desarrollado una orientación hacia el uso de las bombas rotodinámicas en las pequeñas centrales hidráulicas que operan como turbinas mediante la inversión del sentido de flujo y de la rotación. Debido a que las bombas carecen de un distribuidor, pueden operar a plena carga; la regulación se hace mediante disipación de energía con un regulador electrónico de carga. La ventaja de utilizar bombas es la reducción del costo en comparación con el de las turbinas, ya que son fáciles de adquirir y reparar por ser producidas en serie; sin embargo es necesario señalar que se requiere de una adecuada selección. La eficiencia no es muy alta, por lo que su uso es recomendable en bajas potencias.



### Turbina Francis

Esta turbina fue inventada en 1838 por Samuel Howd (EEUU); posteriormente fue perfeccionada por James B. Francis (Gran Bretaña, 1815-1892), hacia 1848, en los Estados Unidos. Esta turbina puede definirse como de reacción, de flujo mixto, centrípeto y de admisión total.

FIGURA 12. TURBINA FRANCIS





### Turbinas Kaplan y de hélice

Esta turbina fue desarrollada por Víctor Kaplan (Austria 1876-1934) en la Universidad de Brno (República Checa) y patentada en 1912. La turbina Kaplan puede definirse como una turbina de flujo axial, reacción y de admisión total.

FIGURA 13. TURBINA KAPLAN Y DE HÉLICE



**Rodete:** es la principal característica de las turbinas Kaplan. Tiene álabes de perfil de ala de avión orientables mediante un mecanismo situado en el interior del cubo. Debido a los álabes del rotor orientables, puede operar con muy buena eficiencia dentro de un amplio rango de caudal.

**Distribuidor:** es del tipo Fink, similar al de las turbinas Francis. Consta además de una carcasa-espiral de sección circular o rectangular y de un tubo de aspiración del tipo recto o acodado, según el requerimiento de la altura de aspiración.

La turbina hélice es una variante de la turbina Kaplan con un distribuidor Fink adaptado al flujo axial. En lugar de la cámara espiral, poseen una cámara tronco-cónica de sección convergente en la dirección del flujo. Se presentan en tres versiones:

- Turbina tubular
- Turbina tipo bulbo
- Turbina de generador periférico

### Selección rápida de la turbina

Se puede realizar una selección rápida de la turbina para una minicentral hidráulica utilizando el diagrama siguiente en la que aparecen diversas turbinas que se usan en la actualidad ubicadas por zonas de aplicación referidas al salto neto, caudal, potencia y una eficiencia promedio. Para alturas superiores a 500 m. hay que consultar con los fabricantes.

El siguiente diagrama se basa en la ecuación:

$$P = \frac{\gamma Q H \eta}{K} = \frac{P_E}{\eta_{TR} \cdot \eta_G} = \frac{Q H \eta}{102}$$

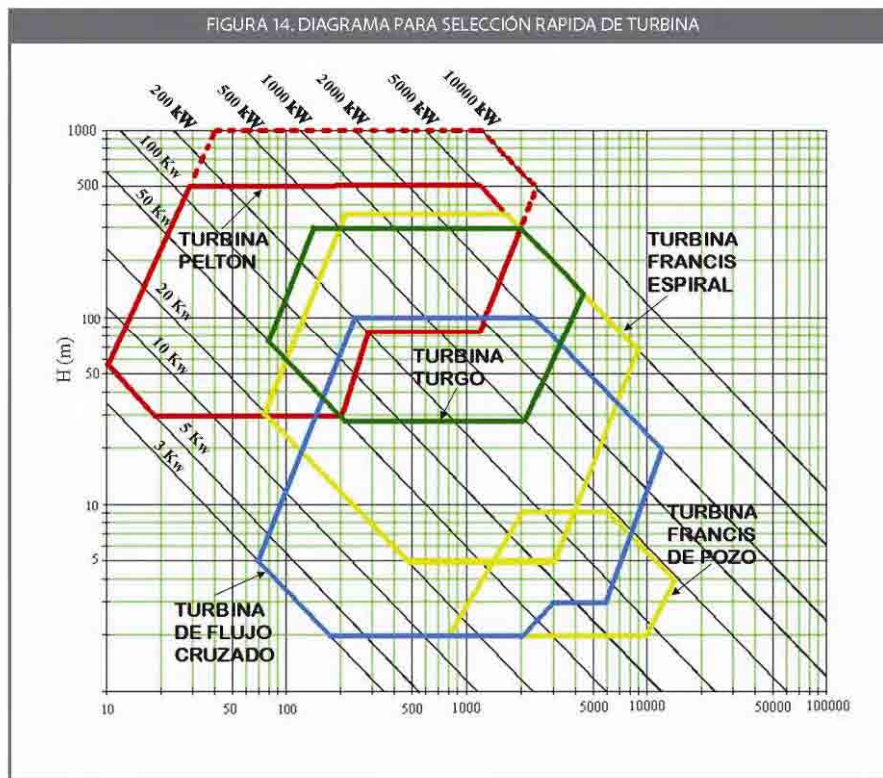
de la cual se despeja el salto neto, de modo que:

$$H = \frac{P}{\gamma \eta} \times \frac{1}{Q}$$

tomando logaritmos:

$$\log H = \log\left(\frac{P}{\gamma \eta}\right) - \log Q$$

Asumiendo una eficiencia promedio se obtiene una relación lineal entre H y Q para una potencia constante P en coordenadas logarítmicas, la cual se muestra en la siguiente figura:



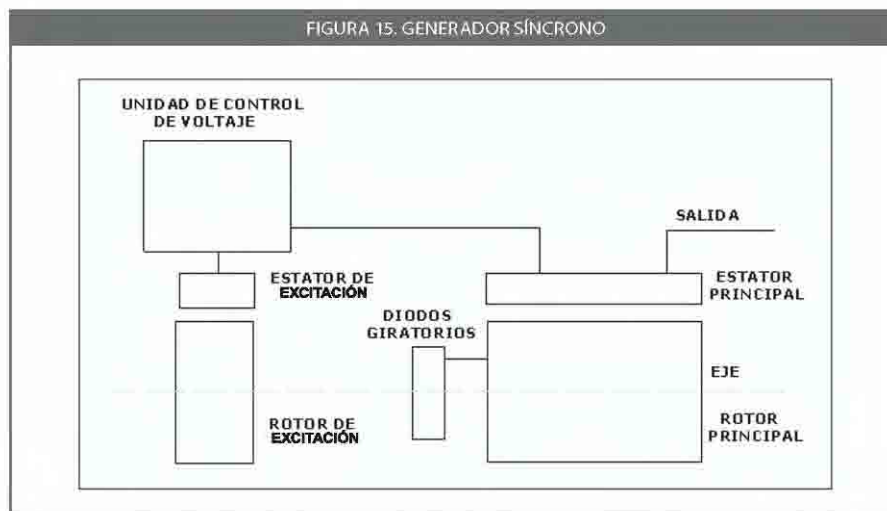
## 2. Generadores eléctricos en mini/ microcentrales hidráulicas

### Construcción general

Un generador de corriente alterna consta principalmente de:

- ✓ Un circuito magnético
- ✓ Un devanado inductor de corriente continua
- ✓ Un devanado inducido de corriente alterna
- ✓ Una estructura mecánica en la que se incluyen los sistemas de refrigeración y lubricación.

El generador síncrono es la máquina de uso prioritario en las unidades de generación con el tiempo ha ido evolucionando en su análisis, magnitud de potencia y métodos de enfriamiento, sin embargo su estructura básica sigue siendo la misma desde que fue introducida en el siglo XIX.



Velocidad de sincronismo:

Es la velocidad de giro de la máquina en RPM, que permanece invariable y origina en la corriente alterna la frecuencia síncrona normalizada: 50 Hz y 60 Hz.

$$f = \frac{PN}{120}$$

Donde:

$f$  = frecuencia del voltaje inducido en Hz

$N$  = velocidad del rotor en RPM

$P$  = número de polos del rotor

| TABLA 5. NÚMERO DE POLOS |       |       |             |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| Nº de polos              | 50 Hz | 60 Hz | Nº de polos | 50 Hz | 60 Hz |
| 2                        | 3 000 | 3 600 | 16          | 375   | 450   |
| 4                        | 1 500 | 1 800 | 18          | 333   | 400   |
| 6                        | 1 000 | 1 200 | 20          | 300   | 360   |
| 8                        | 750   | 900   | 22          | 272   | 327   |
| 10                       | 600   | 720   | 24          | 250   | 300   |
| 12                       | 500   | 600   | 26          | 231   | 277   |
| 14                       | 428   | 514   | 28          | 214   | 257   |

### Regulación de tensión

En sistemas autónomos como son las microcentrales hidráulicas, que no están interconectadas a la red de energía eléctrica, los alternadores atienden la carga doméstica, alumbrado público y energía industrial. Para un trabajo adecuado es necesario el control de la tensión de salida, que se logra manteniendo la regulación de tensión en estrechos valores (con un regulador automático de tensión AVR).

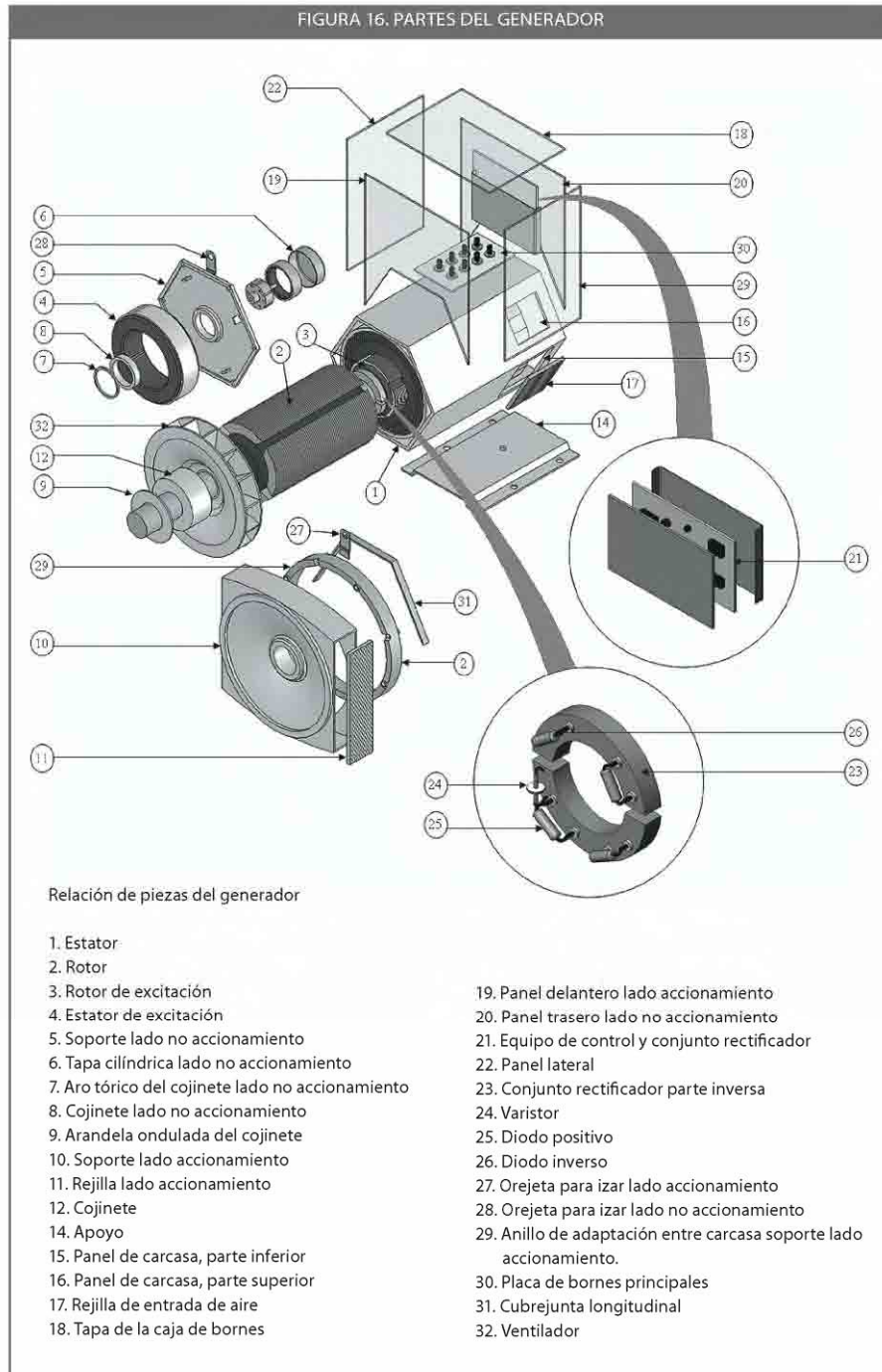
### Inconvenientes principales para el uso de generadores

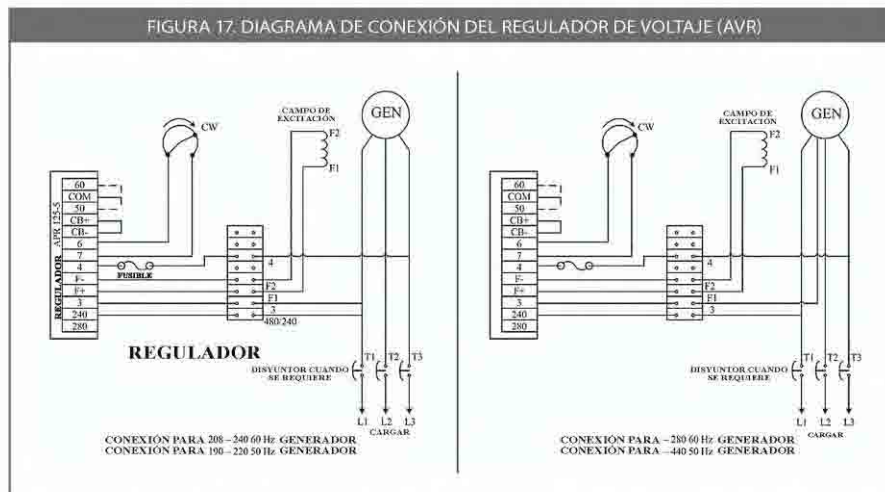
Los alternadores estándar de fabricación actual son de un solo cojinete, por lo que para el uso con turbina, se debe hacer un pedido especial con dos cojinetes.

La velocidad debe ser mantenida en rangos estrechos de regulación, comúnmente se acepta una caída de velocidad del 5%, de lo contrario se presenta exceso de calentamiento por sobreexcitación.

La relación aproximada de pesos en los generadores especiales, y por lo tanto de costo, es:

|          |           |
|----------|-----------|
| 1800 rpm | peso 100% |
| 1200 rpm | peso 230% |
| 900 rpm  | peso 350% |
| 720 rpm  | peso 500% |
| 600 rpm  | peso 580% |





### Factores que afectan el tamaño de los generadores

La potencia nominal o tamaño de las unidades generadoras es variable dependiendo del tipo de central que se trate; del tamaño, capacidad instalada del sistema al que se va a conectar y de algunas restricciones propias del diseño. Se puede afirmar que, normalmente, a mayor capacidad la eficiencia se incrementa; y también a mayor capacidad, se incrementa la potencia de salida por kilogramo de peso de la máquina.

Se deben tomar en consideración también, cuando se incrementa la potencia o tamaño en los generadores que se debe disponer de sistemas de enfriamiento más eficientes para prevenir valores inaceptables de elevación de temperatura; de hecho, la evolución hacia grandes generadores, ha estado íntimamente ligada a la evolución de las técnicas de enfriamiento.



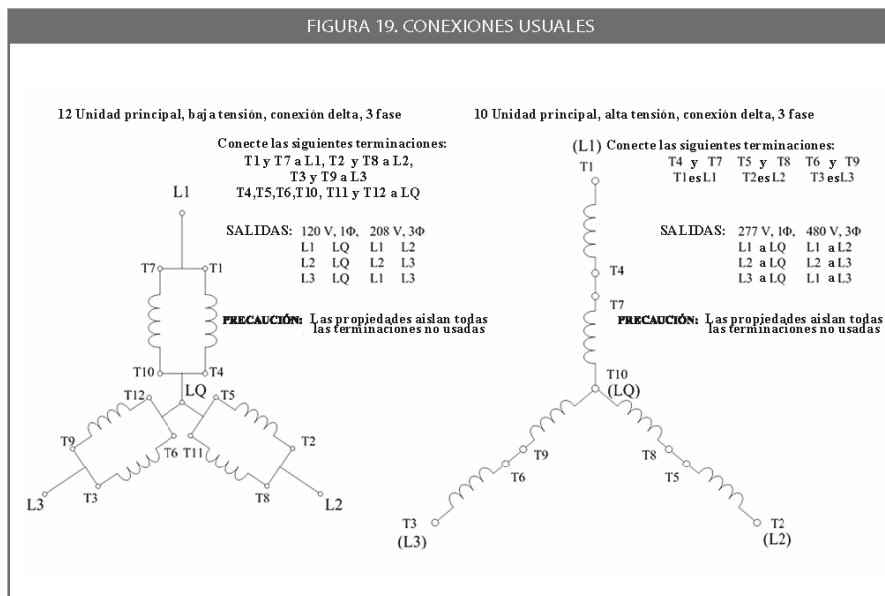


Tensión preferible

Cuando la planta deba servir una carga local pre existente e importante, la tensión de generación más conveniente es la de la carga en cuestión, dependiendo de la distancia de la carga, se requerirá una doble transformación de energía o directamente suministrar la tensión de salida del generador. Las tensiones recomendadas serán las normadas 0.38 Y / 0.22 D kV

Conexiones usuales

Los generadores de 380 y 220 voltios, en capacidades propias para alimentación directa, ordinariamente están conectadas en "Y" simple, con 4 terminales, para permitir la conexión de cargas monofásicas entre fases y neutro.



Capacidad del generador

Considerando los requerimientos de capacidad instalada que se hayan determinado del análisis de la demanda, luego de tomar en cuenta las pérdidas de transmisión y distribución, se establece la potencia requerida en los bornes del generador. A continuación debe considerarse una selección preliminar del generador a partir de especificaciones comerciales.

Para microcentrales, es recomendable el empleo de generadores de dos, cuatro y seis polos (3 600, 1 800 y 1 200 RPM respectivamente a 60 Hz).

De acuerdo a las especificaciones comerciales se selecciona un tamaño tal que la potencia resultante sea lo más próxima posible a la potencia requerida o ligeramente superior, en la siguiente forma:

$$P_g = kVA \times \text{Cos } \varphi$$

Donde:

$P_g$  = La potencia del generador en kW

kVA = La potencia aparente en kVA

$\text{Cos } \varphi$  = Factor de potencia, usualmente se fija un valor de 0.8, sin embargo, en aplicaciones rurales es frecuente la predominancia de cargas resistivas, pudiendo entonces especificarse valores mayores (0.9 – 0.95)

a) Datos de placas del generador :

De acuerdo con los apartados anteriores se resumen a continuación:

| Marca                | NN          |
|----------------------|-------------|
| Modelo               | BCI184      |
| Serie                | 01017031103 |
| kVA                  | 32          |
| kW                   | 25.6        |
| fdp (Cos $\varphi$ ) | 0.80        |
| Hz                   | 60          |
| Conexión             | Y           |
| AVR                  | 63-5 BASLER |
| Temperatura ambiente | 40 C        |
| msnm                 | 3 000 m     |

b) Pruebas y ensayos:

Todas las pruebas se realizan según normas y estas serán las siguientes:

- ✓ Medida de la resistencia en corriente continua de cada una de las fases del bobinado del estátor
- ✓ Control de la resistencia de aislamiento del bobinado del estátor
- ✓ Medida del voltaje y potencia en vacío
- ✓ Control del sentido de giro y de las denominaciones de los bornes
- ✓ Determinación del rendimiento
- ✓ Control de funcionamiento de los accesorios
- ✓ Medida de vibración
- ✓ Pruebas de embalamiento
- ✓ Pruebas de calentamiento



- c) Selección rápida del generador. Para la selección de la turbina debe tenerse en cuenta:

*Potencia al eje de la turbina.*- El generador debe seleccionarse de acuerdo a la potencia al eje de la turbina, éste tiene que ser el adecuado no debe ser de menor potencia ni con exceso de potencia.

*Velocidad de rotación de la turbina.*- Para el caso de las minicentrales hidroeléctricas, donde se utilizan turbinas de diámetros estándares, que implica mayor rapidez y menores costos, la velocidad de rotación de las turbinas están determinadas por su diámetro y la altura, por lo que no siempre la velocidad de sincronismo del generador coincide con la velocidad de la turbina, para ello tiene que utilizarse sistemas de transmisión multiplicadores de velocidad.

*Altitud.*- La altitud hace que el generador varíe su eficiencia, así por cada 1000 m de altitud sobre el nivel del mar hay una pérdida de eficiencia del 10% aproximadamente.

Con estas consideraciones, se elegirá el generador síncrono adecuado, de acuerdo a especificaciones técnicas de catálogos de fabricantes.

## 2.1 Regulación de velocidad

### ¿Por qué hay que regular la velocidad?

Existen muchas maneras de aprovechar la energía generada por el agua al golpear las paletas o álabes de una rueda o turbina hidráulica. Algunos de estos sistemas operan con la turbina girando a velocidad constante en todo momento, mientras que otros lo hacen con la turbina trabajando a velocidad variable. Esto depende del uso que se le da a la energía, y de la existencia o no de control de velocidad en el equipo generador.

Algunos ejemplos de sistemas hidroenergéticos en pequeña escala que operan a velocidad variable son los molinos tradicionales de piedras que son accionados por el agua; los trituradores o "trapiches" de caña de azúcar, operados con ruedas hidráulicas; los cargadores de baterías que usan pico turbinas acopladas a generadores de automóvil; las pequeñas turbinas acopladas a sierras circulares o tomos para madera, etc. En estos sistemas la operación a velocidad variable no causa inconvenientes ni daños al sistema, se aprovecha más la energía mecánica. Por ejemplo, en el primer caso, el molino podrá trabajar a velocidad variable, y la molienda de granos podrá realizarse de manera adecuada. Lo mismo ocurre en los otros casos; la velocidad sólo se ve afectada por la carga impuesta en la máquina.

En contraste, los sistemas que operan a velocidad constante están representados típicamente por aquellas minicentrales hidroeléctricas que suministran electricidad en corriente alterna. Estos sistemas requieren de una operación a velocidad constante para no dañar el generador eléctrico ni los equipos y máquinas que utilicen esta energía. Dado que la frecuencia de la corriente eléctrica es directamente proporcional a la velocidad de giro del alternador, una variación en la velocidad de giro se traduce en una variación en la frecuencia del sistema eléctrico, que debe tener un valor de 60 ó 50 Hz según el país.

Algunos efectos negativos de trabajar a una frecuencia diferente a la nominal cuando se opera en baja frecuencia son:

El motor eléctrico puede no arrancar o incluso malograrse por exceso de corriente en el bobinado

Las lámparas fluorescentes pueden no encender

Las lámparas incandescentes brindan menor iluminación debido a la baja tensión

El alternador puede causar una caída de voltaje en el sistema y sobrecalentarse

Algunos efectos negativos de trabajar a una frecuencia diferente a la nominal cuando se opera en alta frecuencia son:

Las lámparas incandescentes se descomponen o duran menos

Los motores pueden averiarse

El alternador puede dañarse por excesiva velocidad

En aquellas mini/microcentrales hidroeléctricas que no tienen un sistema de regulación de la velocidad, una variación en la demanda de energía inmediatamente producirá un cambio en la velocidad de giro de la turbina. Por lo tanto, el alternador empezará a girar a otra velocidad diferente de la velocidad síncrona, con la consecuente variación en la frecuencia y en el voltaje de la línea, causando los efectos negativo mencionados. Por ello, cuando se prevé que en el sistema existirán continuamente variaciones en la demanda, es necesario instalar algún sistema de compensación que mantenga constante la velocidad de turbina.

Existen básicamente dos maneras de controlar la velocidad del grupo generador:

Por regulación del caudal de agua en la turbina

Por regulación de carga

#### Regulación de velocidad por medio del caudal de agua en la turbina

Para obtener una velocidad constante del grupo generador, existiendo una demanda variable, es necesario que en todo momento la potencia disponible al ingreso del grupo generador deba ser igual a la potencia eléctrica a la salida de este más las pérdidas internas del grupo. Esta puede ser expresada como sigue:

$$\text{Potencia de ingreso} = \text{Potencia de salida} + \text{Pérdidas}$$

Este equilibrio se logra regulando la cantidad de agua ingresada a la turbina, de tal manera que si se produjera un aumento en la demanda, se abrirá una válvula que permite el mayor ingreso de agua a la turbina ocasionando que la potencia generada se iguale a la demanda. Esta puede ser regulada manual o automáticamente.

#### Regulación manual

Tradicionalmente, la regulación manual se ha utilizado principalmente en microcentrales de potencia menor de 50 kW ya que su costo inicial es bajo. Este tipo de regulación se emplea en aquellos sistemas donde no existen grandes fluctuaciones en la demanda de energía. Para utilizar este sistema se requiere de un operador en la casa de la máquina, que esté atento a las variaciones en la frecuencia del sistema y que compense estas variaciones haciendo variar el caudal de agua en la turbina. La variación del caudal se realiza por medio de la válvula de aguja o de álabes directrices, según el tipo de turbina empleada.

### **Regulación automática**

La regulación automática de la velocidad por regulación del caudal proporciona un sistema con frecuencia y voltaje estables. Este sistema se emplea cuando se prevé que en el sistema eléctrico existirán grandes fluctuaciones instantáneas en la demanda.

Este tipo de regulación utiliza los llamados reguladores de velocidad oleomecánicos y sus variaciones tales como los taquimétricos electromecánicos y electrohidráulicos, entre otros. Por su elevado costo este sistema resulta poco apropiado en microcentrales y es más utilizado en centrales de más de 100 kW de potencia.

### **Regulación de la velocidad por regulación de carga**

A diferencia de la regulación por caudal de agua, en la que en todo momento la turbina regula el paso de agua con el fin de igualar la potencia generada con la demanda para mantener la velocidad de giro constante, en los sistemas de regulación de carga el grupo generador entrega una potencia constante; esto es, no hay regulación de caudal de agua. No obstante, debe cuidarse que el grupo genere una potencia mayor o igual a la máxima potencia esperada en la demanda. El exceso de potencia generada se disipará en forma de calor a través de resistencia sumergida en agua o al aire.

Esta regulación también se puede realizar de manera manual o automática, siendo esta última la más utilizada.

### **Regulación automática de carga**

Con el fin de lograr soluciones más económicas y sencillas en el mantenimiento y operación de los reguladores automáticos de velocidad, en los últimos años se ha desarrollado el sistema de regulación electrónica de carga. Este tipo de sistemas han encontrado su campo de aplicación principalmente en el rango de las microcentrales hidroeléctricas, es decir, para potencias menores de 100 kW.

Este sistema no consiste en regular el caudal del agua, si no que el alternador produce una potencia constante y que el regulador electrónico de carga, a través de unas válvulas electrónicas conocidas como tiristores, deriva la energía no consumida por la demanda a un sistema de disipación de energía.

Las principales ventajas de estos reguladores, respecto de los reguladores oleomecánicos y similares son:

- Simplificación del diseño de las turbinas al no existir la necesidad de regular el caudal

- Menor costo

- Operación y mantenimiento sencillos

- No produce sobrepresiones en la tubería de presión

- Fácil ensamblaje o fabricación

- Mayor rapidez en la respuesta a cambios de carga

Actualmente existen dos sistemas de regulación electrónica de carga: Regulación continua o analógica y regulación escalonada o digital.

Los fabricantes de reguladores electrónicos por lo general proporcionan las siguientes especificaciones de sus reguladores electrónicos:

Respuesta a la aplicación o retiro del 100% de la carga: desviación transitoria de la frecuencia: menos de 0.25 s

Estatismo: de 0% a 3% (regulación digital)

Temperatura máxima de operación: 55 °C

Tipo de alternador a utilizar: cualquiera que trabaje con voltajes y frecuencias nominales entre 100 y 500 voltios y entre 45 y 65 Hz

Tipo de demanda: indiferente (capacitiva, inductiva o resistiva)

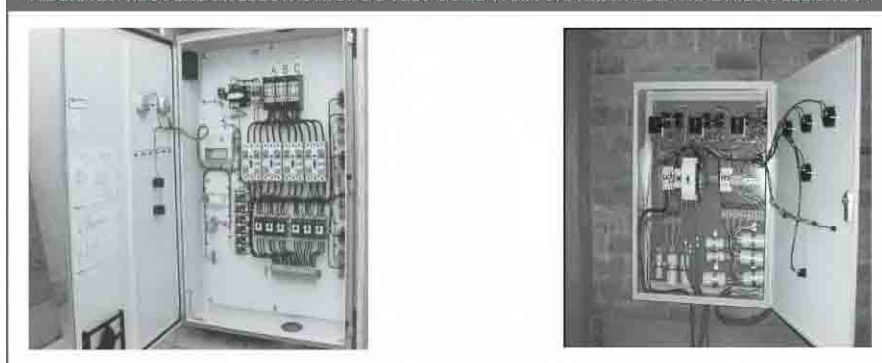
Tipo de carga de lastre a utilizar: resistiva, de 10% a 20% mayor que la máxima demanda esperada

Factor de potencia de la demanda: mayor de 0.7

Los sistemas de disipación de energía más usados son:

*Resistencias calefactores de aire:* debe ponerse cuidado en que el ambiente donde se va instalar las resistencias debe ser un espacio amplio donde exista libre circulación de aire.

FIGURA 20. REGULADOR ELECTRONICO DE VELOCIDAD PARA UNA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA



*Resistencias sumergidas en agua:* debe acondicionarse un pequeño tanque donde se instalarán las resistencias. Debe ponerse atención a que en todo momento las resistencias estén sumergidas en agua, y que además exista agua en permanente circulación, lo que se puede lograr sacando una derivación de la tubería de presión. El tanque o depósito de agua puede construirse de plancha de acero, de concreto o de cualquier otro material que resulte apropiado.

### Selección previa del regulador de velocidad

El regulador se selecciona teniendo en cuenta a las características de la potencia generada, este regulador podría ser regulador de caudal, regulador de carga, o regulador mixto.

La potencia de diseño será de acuerdo a la potencia del generador y el sistema de conexión.

**TABLA 7. COMPARACIÓN ENTRE LOS DIVERSOS SISTEMAS DE REGULACIÓN**

| Parámetro                                | Regulación de caudal |            | Regulación de carga  |            |
|--|----------------------|------------|----------------------|------------|
|  | Manual               | Automático | Manual               | Automático |
| Costo inicial                            | muy bajo             | alto       | bajo                 | medio      |
| Precisión en la regulación de frecuencia | depende del operador | alto       | depende del operador | muy alto   |
| Dificultad de instalación                | no hay               | alta       | baja                 | baja       |
| Dificultad de operación y mantenimiento  | muy baja             | baja       | muy baja             | baja       |
| Requiere vigilancia del operador         | sí                   | no         | sí                   | no         |

### 3. Sistemas de transmisión de potencia mecánica

En una minicentral hidroeléctrica se produce una continua conversión de energía mecánica en la turbina, y de energía mecánica en energía eléctrica en el generador.

En el caso de sistemas eléctricos con corriente alterna, a una frecuencia de 60 Hz, se dispone de generadores con velocidades de  $n=7200/p$  (rpm), siendo "p" el número de polos del generador. De esta manera se puede contar con velocidades de 3600, 1800, 1200, 900 rpm y menos, de 2, 4, 6, 8 polos respectivamente, siendo más costoso el generador en el caso de bajas velocidades.

La velocidad de giro de la turbina está relacionada con la caída neta, el caudal y las dimensiones del rodete. En el caso de grandes centrales hidroeléctricas se justifica construir los rodetes de las turbinas con dimensiones que permitan garantizar una velocidad de giro igual a la del generador y permitir así su acoplamiento directo. En cambio en el caso de mini y microcentrales hidroeléctricas solo se puede emplear los rodetes con dimensiones estándares de los fabricantes; en consecuencia, la velocidad de operación, para las condiciones de caída neta y caudal disponible, rara vez coincide con la de los generadores; por esta razón en las MCH debe emplearse sistemas de transmisión de movimiento y potencia mecánica entre la turbina y el generador siempre y cuando se justifique técnica y económicamente.

#### Elementos de un sistema de transmisión de potencia mecánica

En todo sistema de transmisión de movimiento y potencia mecánica se pueden distinguir fundamentalmente dos tipos de elemento:

- ✓ Elemento conductor o motriz (para este caso turbina hidráulica)
- ✓ Elemento conducido (generador eléctrico)

De una manera más específica los elementos mecánicos involucrados en una transmisión serán:

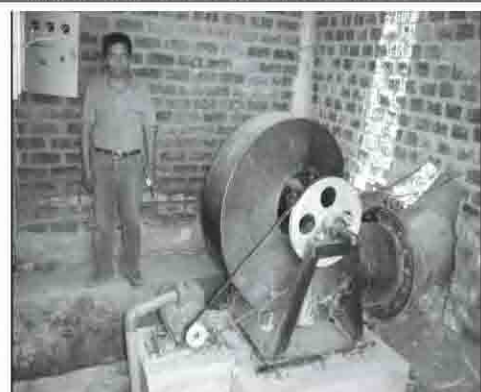
- ✓ Una rueda impulsora
- ✓ Una rueda conducida
- ✓ Ejes que soportan las ruedas y giran con ellas
- ✓ Soportes de los ejes (cojinetes de rodamiento o deslizamiento)
- ✓ Acoplamientos

En las siguientes figuras se puede observar estos elementos. Es importante apreciar que la transmisión de la potencia mecánica se producirá continuamente con la participación de los diferentes elementos mecánicos; así en el ejemplo mostrado: el eje motriz entrega movimiento a la rueda mediante la unión enchavetada, la rueda mueve a la faja por fricción, la faja mueve a la rueda conducida y finalmente ésta al eje conducido.

FIGURA 21. TURBINA AXIAL DE 25 KW DE EJE VERTICAL CON SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE 2:1 POR MEDIO DE FAJAS Y POLEAS



FIGURA 22. TURBINA AXIAL DE 5 KW DE EJE HORIZONTAL CON SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE 4:1 POR MEDIO DE FAJAS Y POLEAS



### Tipos de transmisión

Existen varios tipos de transmisiones mecánicas, indicaremos las más importantes:

- ▶ Transmisiones flexibles por fajas, que pueden ser:
  - Planas
  - Trapezoidales o en V
  - Dentadas
- ▶ Transmisiones por engranajes, que pueden ser:
  - Cilíndricas de dientes rectos
  - Cilíndricas de dientes helicoidales
  - Cónicas de dientes rectos

Cónicas de dientes espirales  
De tornillo sin fin con rueda dentada

### Velocidad y potencia transmitida

En la transmisión de movimiento de un sistema se busca aumentar o disminuir la velocidad angular, así como transmitir potencia de un eje a otro. Para una mejor comprensión veremos a continuación algunos conceptos y relaciones fundamentales.

#### a) Velocidad periférica

También denominada velocidad tangencial, es igual a:

$$V = \pi \cdot D \cdot N/60 \text{ [m/seg]}$$
$$V = w D/2$$

Siendo:

D = diámetro de la rueda [m]

N = rpm de la rueda

W = velocidad angular [rad/seg] ( $2\pi \cdot N/60$ )

#### b) Relación de transmisión

Es la relación entre las velocidades de la rueda impulsora y de la rueda conducida: relación que identificaremos con la letra "i", es igual a:

$$I = N1/N2 = D2/D1$$

Siendo:

N<sub>1</sub> = rpm de la rueda impulsora

N<sub>2</sub> = rpm de la rueda conducida

D<sub>1</sub> = diámetro de la rueda impulsora

D<sub>2</sub> = diámetro de la rueda conducida

En caso de necesidad de altas relaciones de transmisión se pueden utilizar etapas sucesivas. En estos casos se cumple:

$$i_t = \frac{RPM \text{ entrada}}{RPM \text{ salida}}$$

$$i_t = i_1 \times i_2 \times \dots \times i_n$$

Siendo:

i<sub>1</sub>, i<sub>2</sub>, ...: relaciones de transmisión de cada etapa

c) Torque: Indica la capacidad de un eje giratorio para desarrollar una fuerza tangencial "F" a una distancia radial "r" del centro del eje. Es igual a:

$$T = F \cdot r \text{ [Kg.m]}$$

d) Potencia

Es la energía por unidad de tiempo que transmite un eje. Es igual a:

$$P = T \times \omega / 102 = T \cdot N / 974 \text{ [kW]}$$

También:

$$P = F \cdot V / 102$$

Se puede apreciar que la potencia es directamente proporcional al producto del torque y la velocidad angular, lo que equivale a indicar que para un mismo valor de la potencia el torque y la velocidad son inversamente proporcionales entre sí. Esto significa que, en un sistema en el que conservamos la potencia mecánica, si aumentamos la velocidad disminuiríamos la capacidad de desarrollar torque y viceversa.

e) Relaciones de transmisión que se alcanzan en una etapa según el tipo de transmisión

Valores de relación de transmisión que se alcanzan en una etapa según el tipo de transmisión:

|                                 |                |
|---------------------------------|----------------|
| Engranaje                       | i = 4 hasta 20 |
| Tornillo sin fin                | las más altas  |
| Cadena de manguitos de rodillos | hasta 6 - 10   |
| Cadena dentada                  | hasta 15       |
| Correa trapezoidal              | hasta 8 - 15   |
| Correa plana con rodillo tensor | hasta 10       |
| Correa plana abierta            | hasta 5        |

f) Velocidades máximas recomendadas para las transmisiones

Velocidades máximas recomendadas para las transmisiones:

|   |   |
|---|---|
| Correa plana corriente  | $V_{\text{máx}} < 25 \text{ m/s}$               |
| Correas especiales de fibras artificiales   | $V_{\text{máx}} < 50 \text{ m/s}$               |
| Correas trapezoidales estándares  | $V_{\text{máx}} < 25 \text{ y } 30 \text{ m/s}$ |
| Correas trapezoidales especiales con alma de acero  | 50 m/s  |
| En transmisiones por cadena $V_{\text{máx}} = 25\text{-}40 \text{ m/s}$ , y en las de correa dentada  | $V_{\text{máx}} = 80 \text{ m/s}$               |
| En los engranajes de dientes rectos a $V > 10 \text{ m/s}$ , en los dientes helicoidales a $V > 15 \text{ m/s}$ deben fabricarse con 6 grado de precisión | $V_{\text{máx}} = 150 - 180 \text{ m/s}$        |
| En las transmisiones por tornillo sin fin   | $V_{\text{máx}} < 20 \text{ m/s}$               |

g) Rendimientos característicos para una etapa de las transmisiones

|                               |          |
|-------------------------------|----------|
| Transmisiones dentadas        | 99%      |
| Transmisiones por cadena      | 97 - 99% |
| Trans. por correa plana       | 95 - 97% |
| Trans. por correa trapezoidal | 96%      |
| Trans. por tornillo sin fin   | 75 - 90% |



## Transmisión por fajas

Este sistema de transmisión es el que tiene mayor aplicación para el caso de mini y microcentrales hidroeléctricas. En este sistema, la capacidad de transmisión de potencia depende de la fricción entre la faja y las ruedas que, a su vez, depende del coeficiente de rozamiento y del ángulo de contacto de la faja con la polea menor.

Sus principales ventajas son:

Possibilidad de unir el árbol conductor con el conducido, dispuestos a distancias alternativamente grandes

Aparte de los cojinetes, no se requiere lubricación

Debido a que la transmisión es por fricción, en caso de sobrecargas se produce resbalamiento entre faja y poleas, lo que protege a otros elementos de transmisión y a los equipos involucrados

Funcionamiento relativamente suave sin golpeteo originado por la propia transmisión

Sencillez

Costo inicial relativamente bajo

## Criterios para el dimensionamiento de sistemas de transmisión

Para poder dimensionar un sistema de transmisión debe contarse con la siguiente información:

Potencia a transmitir

Velocidades de entrada y salida

Condiciones de servicio

Las condiciones de servicio están relacionadas con el tipo de máquina conducida, en cuanto a las vibraciones que ellas originen en la transmisión; también dependen de las horas de servicio, condiciones ambientales, etc. Estas condiciones de servicio han sido evaluadas experimentalmente para los diferentes sistemas de transmisión, considerándose en la forma de un "factor de servicio"

Para propósitos prácticos, la selección se efectúa con la potencia de diseño ( $P_{dis}$ ) que está definida así:

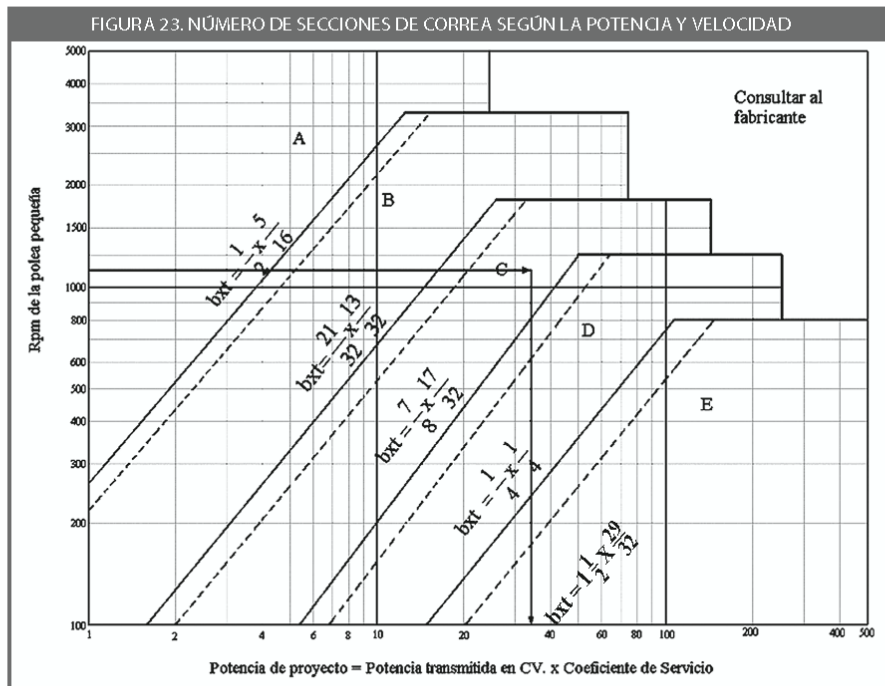
$$P_{dis} = T_{trans} \times F_{serv}$$

Donde:

$P_{trans}$ : potencia transmitida

$F_{serv}$ : factor de servicio

El dimensionamiento específico se debe efectuar con la ayuda de tablas y catálogos de los fabricantes.



La selección de fajas en V puede efectuarse siguiendo el procedimiento general que se aplica a los diferentes sistemas de transmisión de potencia, siendo requisito fundamental contar con los datos iniciales sobre potencia a transmitir, relación de transmisión y condiciones de servicio, así como alguna restricción de espacio.

Las selecciones del tipo de sección de mayor uso industrial son las designadas con las letras A ( $1\frac{1}{2}'' \times 5/16''$ ), B ( $2\frac{1}{32}'' \times 13/32''$ ), C ( $7/8'' \times 17/32''$ ), D ( $1/4'' \times 1/4''$ ) y E ( $1\frac{1}{2}'' \times 29/32''$ ). Existen también secciones más compactas: 3V ( $3/8''$  ancho), 5V ( $5/8''$ ) y 8V ( $1''$ ). Se ha determinado experimentalmente el rango apropiado de uso de cada sección de acuerdo a la potencia y velocidad.

La determinación de los diámetros de las poleas se hará considerando varios criterios, entre los que podemos destacar:

- La relación de velocidades a obtener
- El diámetro mínimo tolerable por las diferentes secciones
- La conveniencia de usar diámetros normalizados
- La influencia del diámetro de la polea menor en la capacidad de transmitir potencia de las fajas
- La influencia de los diámetros en las tensiones y fuerzas en los ejes y los rodamientos

Algunos ingenieros privilegian el uso de los diámetros más pequeños posibles basados en la suposición de que se ahorrará en costos de poleas y se obtendrán fajas cortas; sin embargo, ello disminuirá la capacidad de transmitir potencia, y las fuerzas en los ejes y rodamientos serán mayores que para una polea de mayor diámetro. En consecuencia, se obtendrá soluciones con mayor número de fajas, poleas más anchas, ejes más gruesos y rodamientos más grandes. Es necesario estudiar varias alternativas y seleccionar la de menor peso, y con menor precio de todos los componentes de la transmisión.

## 3.8 Estudio de la línea de distribución

Mientras los puntos de generación queden alejadas de los centros de consumo, serán necesarias largas líneas aéreas de media tensión (MT), a fin de asegurar la continuidad del servicio frente a diversas contingencias.

Para el estudio, diseño y proyecto de una línea aérea en MT se puede establecer las siguientes consideraciones:

- a) Se debe determinar el carácter general del suelo en el que se ha de colocar la línea. En casos extremos, este puede ser un factor determinante en la selección del conductor y el tipo de apoyos. El trazo de una línea deberá establecerse en zonas de fácil acceso para la inspección y el mantenimiento. El trazo de la línea es una cuestión de criterio, requiere una amplia experiencia general capaz de ponderar correctamente las exigencias respecto a permisos, bajos costos de construcción y facilidad de mantenimiento. En zonas accidentadas o zonas pobladas no es aconsejable un trazado directo o tratar de adaptarse a largas tangentes, pequeñas desviaciones de unos cuantos grados cuestan poco más y alargan poco la línea. Es recomendable establecer líneas con desvíos entre  $5^\circ$  y  $15^\circ$  que no son muy costosos. Hay que evitar las cimas altas, ya que conllevaría a añadir protección tanto contra el viento como contra las descargas atmosféricas. Se recomienda aprovechar los accesos existentes, tales como, caminos, carreteras o el acceso de líneas ya instaladas. Evitar en lo posible terrenos inundables, de roca fragmentaria con arcillas expansivas o alto nivel freático.
- b) No deben ahorrarse esfuerzos en conseguir los mejores mapas disponibles de cualquier orden.  
  
Deberá efectuarse un reconocimiento general por tierra y evaluación de todos los mapas e información disponible.  
  
Completado los trabajos preliminares, se determinarán las dificultades principales a fin de establecer políticas para afrontar rutas aéreas, cruces con líneas existentes, cruces con terrenos particulares, vegetaciones cercanas, tipo de terreno, servidumbres, etc.
- c) Debe establecerse los siguientes términos generales:
  - (a) un medio de acceso a cada apoyo; (b) permiso para instalar todos los apoyos y las retenidas; (c) la eliminación de árboles y ramas dentro una anchura de al menos 3m mayor que la correspondiente a la posible situación de los conductores, de modo que quede un espacio de trabajo libre para la instalación; (d) la eliminación de todos los árboles que no permitan la oscilación libre del conductor, en caso que este empiece a oscilar bajo condiciones de viento máximo y la eliminación de todos los árboles que no permitan la caída libre del conductor.
- d) Establecer los planos de planta y perfil que son los dibujos claves para la construcción de las líneas. La escala vertical ha de exagerarse considerablemente, siendo la escala horizontal no mayor que la que se requiera para la determinación de distancias con la exactitud necesaria. De no existir planos de la localidad, se deberá realizar un levantamiento planimétrico. Se utiliza a menudo una escala horizontal de 1/2 000 (longitudes), una vertical de 1/500 (altitudes), que proporciona un dibujo muy compacto con la exactitud suficiente para la mayoría de condiciones. Pueden preferirse escalas mayores para vanos cortos; no se recomienda una escala menor.