

The background is a solid teal color with several white, curved, overlapping lines that sweep across the left and bottom portions of the frame, creating a sense of motion and depth.

MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS

¡Al alcance de todos!

MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS

¡Al alcance de todos!

AUTORES:

Daniel E. Gómez Cárdenas
Jorge Posada Escobar

**UNIVERSIDAD EAFIT
Medellín - Colombia
2009**



CONTENIDO

• ¿QUÉ SON LAS ENERGÍAS RENOVABLES?	3
• ¿QUÉ ES LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA?	3
• EN CUANTO A LAS MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS	3
• ¿QUÉ ES Y PARA QUÉ SIRVE UN ESTUDIO DE DEMANDA?	4
• LO BÁSICO QUE SE DEBE CONOCER PARA CONSTRUIR UNA MICROCENTRAL...	6
- Cabeza de presión (Salto)	6
- Flujo de agua (Caudal)	8
- Potencia	9
• CONOCIENDO MEJOR LOS COMPONENTES DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA	10
- Bocatoma	11
- Conducción	12
- Desarenador	12
- Cámara o tanque de carga	12
- Tubería de presión	13
- Anclajes y apoyos	13
- Turbina hidráulica	13
- Generador	15
- Sistemas de control	15
- Válvulas y compuertas	15
- Casa de máquinas	16
- Transformador	16
- Líneas de transmisión	16
• PARA LOS INTERESADOS EN EL PROCESO DE DISEÑO DE COMPONENTES DE UNA MICROCENTRAL	17
• TODA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA TIENE TAMBIÉN UN IMPACTO AMBIENTAL	21
• VIABILIDAD FINANCIERA DE UNA MICROCENTRAL	22
• BIBLIOGRAFÍA	22

¿QUÉ SON LAS ENERGÍAS RENOVABLES?

Se le dice energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales consideradas como inagotables. Esto se debe a la inmensa cantidad de energía que contienen o porque son fuentes capaces de regenerarse por medios naturales. Existen numerosas alternativas de energías renovables como:



- Energía solar (El sol)
- Energía eólica (El viento)
- Energía hidráulica (Los ríos y corrientes)
- Energía mareomotriz (Los mares y océanos)
- Energía undimotriz (Las olas)
- Energía geotérmica (El calor de la Tierra)
- Energía de biomasa (La materia orgánica)

¿QUÉ ES LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA?

El concepto básico para obtener energía hidroeléctrica, es aprovechar la energía cinética del agua que cae. Ésta se almacena en una presa o fluye naturalmente a lo largo de un río, pasa a través de una turbina, la cual rota por la fuerza de la presión y el flujo del agua. La turbina está mecánicamente conectada a un generador eléctrico, el cual también es forzado a rotar, generando así electricidad.

EN CUANTO A LAS MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Los sistemas hidroeléctricos se definen tanto por su tamaño como por la forma en que utilizan la energía del agua. Las grandes plantas hidroeléctricas se diferencian de las pequeñas centrales hidroeléctricas, porque estas últimas generan reducidas cantidades de electricidad por medio de uno o más conjuntos turbina/generador. Las pequeñas centrales hidroeléctricas son un aprovechamiento de energía renovable, justificado en términos de costos, eficiencia y sobretodo bajo impacto ambiental.

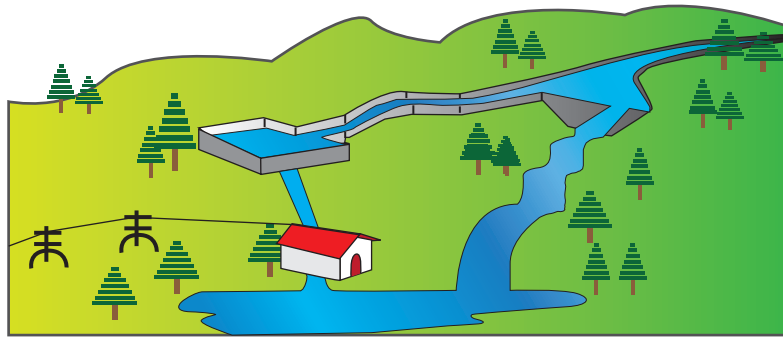
A propósito Antioquia cuenta con muchos ríos, riachuelos y manantiales que pueden ser utilizados para generar electricidad mediante pequeñas centrales y mejorar así las condiciones de abastecimiento energético en muchos lugares con diferentes necesidades.

Las centrales de pequeña generación hidroeléctrica son aquellas enmarcadas en un rango de 0,5 a 5000 kilovatios, según la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Las microcentrales hidroeléctricas que hacen parte de este grupo, están comprendidas entre los 5 a 50 kilovatios.

Clasificación según potencial

Tipos	Potencia
Picocentrales	0,5 - 5kW
Microcentrales	5 - 50 kW
Minicentrales	50 - 500 kW
Pequeñas Centrales	500 - 5000 kW

En cuanto a las clasificaciones, el tipo de microcentral hidroeléctrica que más se encuentra en Antioquia es de agua fluuyente, la cual deriva una parte del caudal de la quebrada y lo conduce hacia la central. Sin embargo debe considerarse la existencia de otro tipo de microcentrales como lo son: las centrales con embalse y las centrales en canales de riego. Esta cartilla se orienta hacia las centrales de agua fluuyente, como se aprecia en la siguiente imagen.



Las microcentrales, según su vinculación al sistema eléctrico interconectado, pueden ser:

- Centrales aisladas (no suministran energía a las redes nacionales)
- Centrales integradas o interconectadas a redes nacionales

¿QUÉ ES Y PARA QUÉ SIRVE UN ESTUDIO DE DEMANDA?

El tamaño de una microcentral estará determinado por la demanda de potencia y la demanda de energía. La primera se refiere a la potencia instantánea que requieren varios aparatos eléctricos conectados simultáneamente al sistema. La demanda de energía, dada en vatios-hora o kilovatios-hora, relaciona en cambio la demanda de potencia con el tiempo en que los aparatos están conectados. El tamaño del grupo turbina-generator, se determina con base en la demanda pico, es decir, la mayor demanda de potencia en un momento dado.

La forma más fácil de determinar la demanda en cierto lugar es conociendo la potencia demandada de los aparatos electrónicos y eléctricos presentes y sus horas de uso. La suma de la demanda de todos los aparatos durante determinadas horas dará un pico estimado. Una forma más especializada pero costosa de estudiar la demanda existente de determinado lugar es mediante un equipo conocido como un analizador de redes.

Hay que tener en cuenta que siempre es más barato ahorrar energía que producir mayor potencia. Por esta razón, muchas veces es mejor adoptar nuevas costumbres en cuanto a consumo eléctrico para reducir el costo del sistema de la microcentral a construir.





Tabla de consumo de los equipos más comunes en los hogares

Electrodoméstico	Vatios	kW-hr
 Bombillo Común	100	0,1
 Calentador de agua	2200	2,2
 Nevera	300	0,3
 Horno Eléctrico	2000	2,0
 Cafetera	600	0,6
 Micro ondas	1200	1,2
 Lavadora / Secadora	1500	1,5
 Licuada	180	0,18
 Computador	800	0,8
 Televisor	200	0,2
 Equipo de sonido	150	0,15
 Teléfono	100	0,1
 Estufa	1500	1,5

Para conocer el consumo de algún equipo se puede recurrir a las especificaciones dadas en el manual del fabricante.

Ejemplo

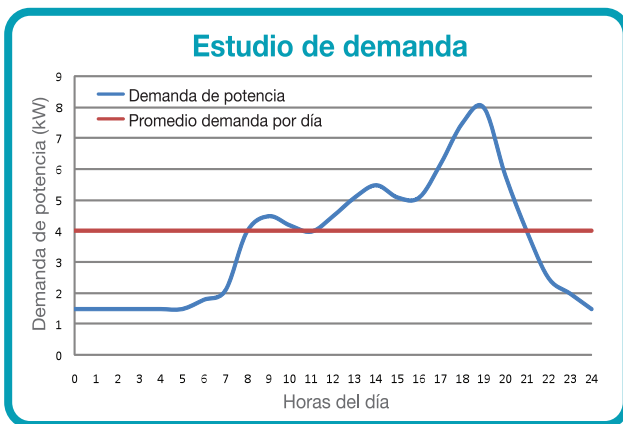
Para cada hora de las 24 horas del día se determina cuáles son los dispositivos eléctricos y electrónicos que están encendidos al mismo tiempo. Esto se hace en el día de la semana donde se crea que hay mayor consumo. Por ejemplo a las 8 de la mañana puede estar encendido lo que se muestra a continuación:

Demanda 8 a.m. = 8 x  + 1 x  + 1 x  + 2 x 

Demanda 8 a.m. = 8 x 0,1 kW + 1 x 1,2 kW + 1 x 0,3 kW + 2 x 0,2 kW

Demanda 8 a.m. = 2,7 kW

Después de hacer el paso anterior para las 24 horas del día, se grafica la demanda vs. las horas del día obteniendo así un estudio donde se puede determinar la demanda pico.



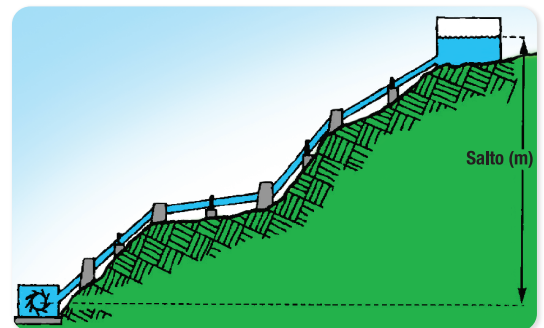
Del estudio ejemplo se concluye que el pico es a las 9 pm. con una demanda de potencia máxima de 8 kW. Esto implica que el tamaño mínimo de la microcentral para abastecer este lugar con las condiciones de consumo dadas, es de 8 kW.

LO BÁSICO QUE SE DEBE CONOCER PARA CONSTRUIR UNA MICROCENTRAL...

Conocida la demanda energética se deben abordar los parámetros que determinan la cantidad de energía que el sistema hidroeléctrico puede crear. Estos parámetros son la cabeza de presión y el caudal de agua. La importancia de conocerlos es que permiten identificar localizaciones con un buen potencial para desarrollar un proyecto.

Cabeza de presión (Salto)

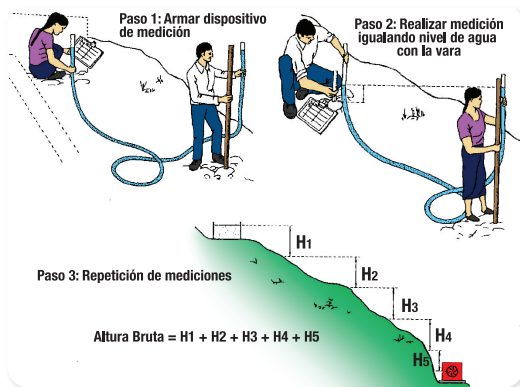
Es la altura vertical desde el nivel máximo del tanque de almacenamiento del agua hasta el nivel del eje de rotación de la turbina. Más adelante usted podrá conocer mejores detalles sobre cada componente de la microcentral.



Para estimar este parámetro se proponen dos métodos simples a continuación:

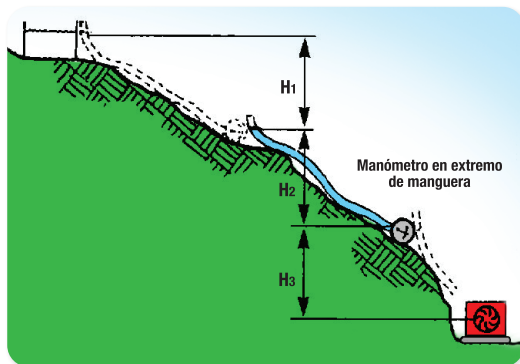
Método de manguera de nivelación

Consiste en amarrar una de las puntas de una manguera plástica transparente en una vara de madera de longitud definida y dejando libre la otra extremidad. Se recomienda una manguera de diámetro de 6 a 8 mm, la cual se llena de agua evitando burbujas de aire. La vara utilizada puede ser de 1,5 m.



La extremidad libre de la manguera se ubica en punto superior del terreno, con la boca hacia arriba. De allí se desciende a un punto inferior del terreno, siempre apoyando la vara, hasta que el nivel de agua del extremo atado a la vara iguale la altura de ésta. En este punto la altura descendida equivale a la altura de la vara. Se hacen múltiples mediciones como éstas, llevando el extremo libre a la posición inferior de la medición anterior, hasta llegar al sitio donde se ubicaría la turbina. En la imagen se pueden ver mejor los pasos del método.

Método de la manguera y manómetro



Se utiliza una manguera similar a la del método anterior y un manómetro que debe ajustarse bien a un extremo de la manguera. Se debe contar con un manómetro calibrado y una manguera llena de agua libre de burbujas. Se hacen mediciones por tramos como en el método anterior, descendiendo por la montaña con la manguera a ras de piso como se muestra en la imagen, anotando las lecturas de presión hasta llegar al lugar donde estaría ubicada la turbina. Una lectura del manómetro en KPa o PSI se puede convertir a una caída en metros con las siguientes ecuaciones:

$$h(m) = P(kPa)/9,8$$

$$h(m) = P(PSI) \times 0,7045$$

Las diferentes medidas se suman para obtener la caída total. Una ventaja de este método es que permite a la vez tener una primera aproximación de la longitud de tubería que se requiere, al multiplicar la cantidad de mediciones por el tramo de manguera.

Otras formas de estimar este parámetro pueden ser: uso de alfilero o lectura de mapas con curvas de nivel.

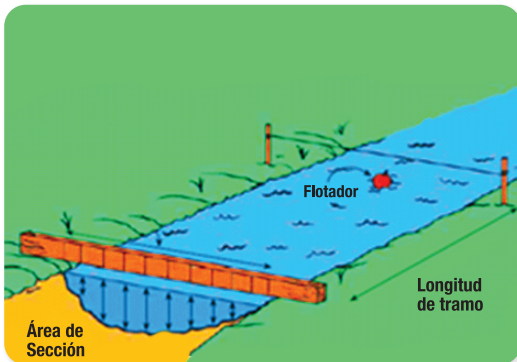
Flujo de agua (Caudal)

Es el volumen de agua que pasa por un río en una unidad de tiempo. Las estimaciones iniciales del caudal disponible se pueden hacer mediante dos métodos simples que se describen a continuación:



Método del recipiente

El caudal a medir es desviado hacia un balde o barril y se registra el tiempo que tarda en llenarse. El volumen del recipiente es conocido y el caudal se obtiene dividiendo este volumen por el tiempo. La desventaja de este método es que para una medición confiable debe desviarse al recipiente todo el caudal del río.



Método del flotador (área y velocidad)

Este método se basa en el concepto que el producto del área de una sección de una quebrada multiplicado por la velocidad media del flujo que la atraviesa es igual al caudal volumétrico. Para medir la velocidad se selecciona un tramo de longitud, pueden ser 5 metros. Se utiliza un flotador, por ejemplo una botella llena de agua a la mitad, para medir el tiempo que se demora en recorrer dicha longitud. Varios resultados son promediados. La longitud dividida por el tiempo promedio, da como resultado la velocidad.

Para determinar el área de la sección se hace un promedio de las profundidades y se multiplica por la anchura en la longitud del tramo a medir.

Para hallar el caudal se utiliza la siguiente expresión: $Q = \text{Area} \times V_{\text{media}}$

Este método es de gran utilidad para las quebradas del departamento de Antioquia, que en su mayoría son quebradas de montaña. Para quebradas más profundas y caudalosas se pueden obtener valores más precisos de velocidad utilizando medidores de velocidad o molinetes.

Otros métodos más elaborados para medir caudal son: método de la solución salina, método de la sección de control y regla graduada, y método del vertedero de pared delgada

Sobre los estudios hidrológicos...

En algunas localizaciones existen entidades dedicadas a gestionar este tipo de datos hidrológicos y climáticos en estaciones de aforo y metrología. La normatividad ambiental colombiana plantea el desarrollo de unos planes de ordenamiento y manejo de cuencas, POMCA, los cuales sería ideal consultar en los lugares donde existan. Si no se tienen estas series de datos temporales para los tramos de río en estudio, habrá que disponer de tiempo para hacerlo. Se deben medir los caudales como mínimo en condiciones que correspondan a tiempos de sequía y tiempos de invierno.

Al tener la información hidrológica de la quebrada en estudio se debe proceder a reconocer los diferentes tipos de caudal que serán necesarios para posteriores consideraciones en los componentes de la microcentral:

- **Caudal máximo:** Es el mayor caudal dado por los niveles máximos de la quebrada debido a las crecientes ordinarias en un determinado momento.
- **Caudal mínimo:** Nivel de caudal que tiene la quebrada en épocas de sequía o estiaje.
- **Caudal medio:** Es la media de los caudales instantáneos medidos durante determinados períodos de tiempo. Puede ser entonces caudal medio diario, mensual o anual.
- **Caudal ecológico:** Es el caudal mínimo, determinado por la autoridad ambiental, que garantiza la supervivencia del ecosistema de la quebrada.

Se pueden hacer diferentes combinaciones de salto y caudal para obtener la ubicación que mejor se ajuste al usuario. Si se tiene buena disponibilidad de caudal, se puede disminuir el salto tomando más agua. Esta reducción contribuiría a que la distancia entre la bocatoma y la turbina sea menor.

Potencia

Conocidos los dos parámetros mencionados anteriormente se puede hallar la potencia disponible. Se debe tener en cuenta que la potencia neta producida para el consumo será mucho menor que la potencia disponible debido a las pérdidas asociadas a toda la microcentral. La eficiencia total del sistema en realidad varía entre 0,5 y 0,7.

Estimación inicial de potencia disponible

$$P_{\text{disp}} = 9,81 \times Q \times H$$

Donde:

P_{disp} = Potencia, kW

Q = Caudal, m³/s

H = Salto disponible, m

9,81: Factor que simplifica la ecuación para no tener que ingresar datos como la densidad del agua, la gravedad y obtener un resultado en kW

Cuando finalmente se decide la potencia que se quiere generar y se estiman unas pérdidas en el sistema, se puede conocer el caudal necesario para alimentar la turbina. Este caudal es el caudal de diseño y se utiliza para determinar el diseño de las diferentes obras que componen el proyecto (tuberías, tanque, desarenador, etc.). Los componentes varios de la microcentral son los responsables de que la eficiencia del sistema se vaya reduciendo en determinados porcentajes.

Caudal de diseño

$$Q_d = P / (8 \times g \times H)$$

Donde:

Q_d = Caudal de diseño, en m³/s

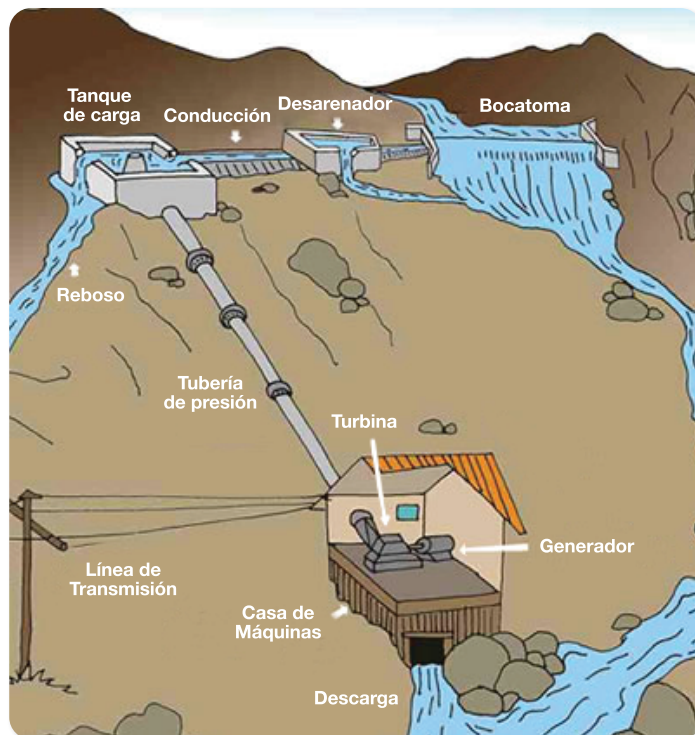
P = Potencia demandada, en kW

g = Peso específico del agua, en ton/ m³

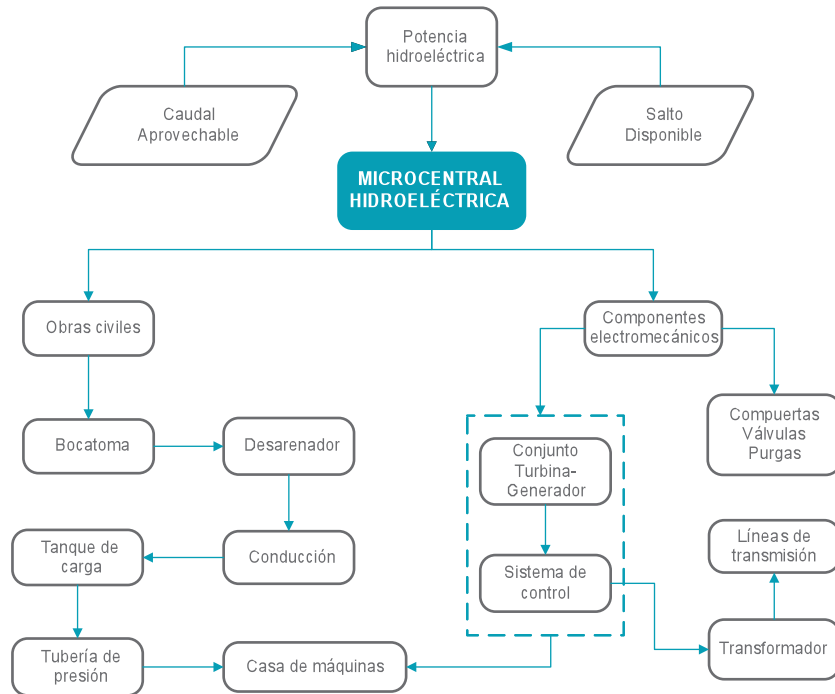
H = Salto bruto con pérdidas estimadas, en m

8: Factor que resulta de considerar unas pérdidas adicionales del 20% no estimadas en la caída neta.

CONOCIENDO MEJOR LOS COMPONENTES DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA



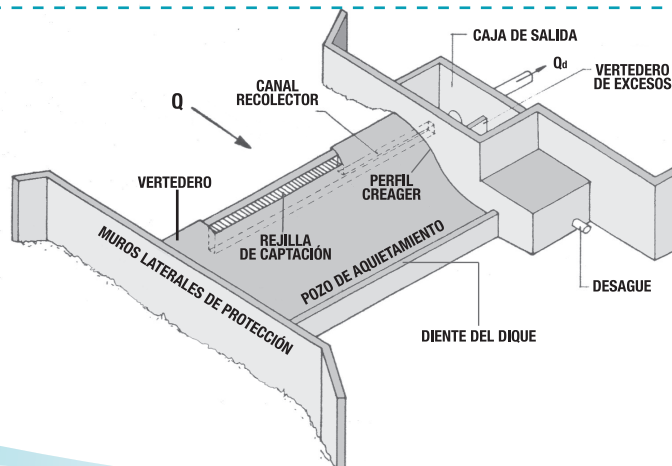
Una serie de elementos o partes importantes a considerar en la implementación de una microcentral hidroeléctrica se presentan en esta sección, con el fin de reconocerlos, aunque dependiendo de las circunstancias no todos son necesarios.



Bocatoma

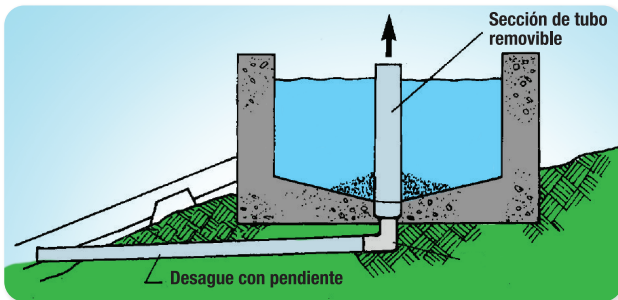
Es la estructura hidráulica que se construye sobre el cauce del río con el fin de captar el caudal de diseño requerido para la generación de energía. Es importante tener en cuenta respecto de su ubicación y funcionamiento: asegurar la desviación permanente del caudal de diseño; captar la mínima cantidad de sólidos y disponer de medios para su evacuación; ubicar la obra en un tramo adecuado; tener en cuenta las alternativas de construcción para una bocatoma lateral o de fondo y considerar que dependiendo de las condiciones del terreno se puede optar por construir vertedero en concreto, presa de tierra o presa en madera.

Para las quebradas de montaña, muy comunes en Antioquia, es recomendada la bocatoma sumergida o de rejilla de fondo como la mostrada en la imagen, de frecuente aplicación en acueductos rurales.



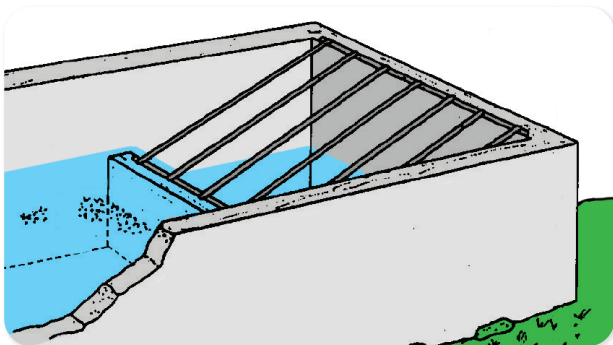
Conducción

La conducción puede tomar forma de canal o tubería y transporta el agua desde la bocatoma hasta la cámara o tanque de carga. Si se escoge para la conducción un canal, se debe analizar el revestimiento y en algunos casos evaluar la opción de un canal natural. En el caso de utilizar tubería para conducción se debe estudiar su selección para que cumpla con las exigencias hidráulicas del transporte del agua. Los materiales frecuentemente utilizados para tubería son: acero comercial, PVC, polietileno de alta densidad, hierro dúctil, asbesto-cemento y resina de poliéster reforzado con fibra de vidrio. De estas alternativas las más costosas son las tuberías en hierro y en acero. En muchas aplicaciones se elige la tubería en PVC por su bajo costo y buenas prestaciones. Por su parte tuberías como la de poliéster reforzado no son rentables en microcentrales con longitudes cortas de tubería.



Desarenador

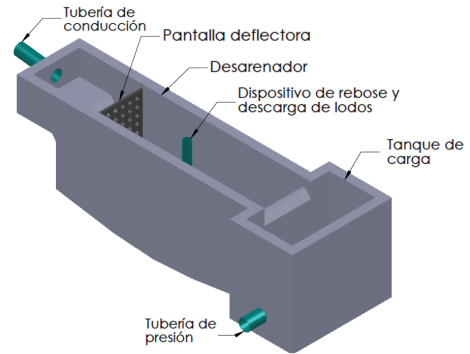
Es la obra civil que permite el asentamiento de las partículas sólidas en suspensión en el agua al reducir la velocidad del flujo. Puede instalarse en la bocatoma o en la cámara de carga. La importancia del desarenador es que evita el ingreso de materiales sólidos que puedan pasar de la toma, produciendo grandes perjuicios ya que se van sedimentando en el fondo de la tubería o canal de conducción y con el tiempo reducen su capacidad; además podrían llegar hasta las turbinas, desgastándolas.



Cámara o tanque de carga

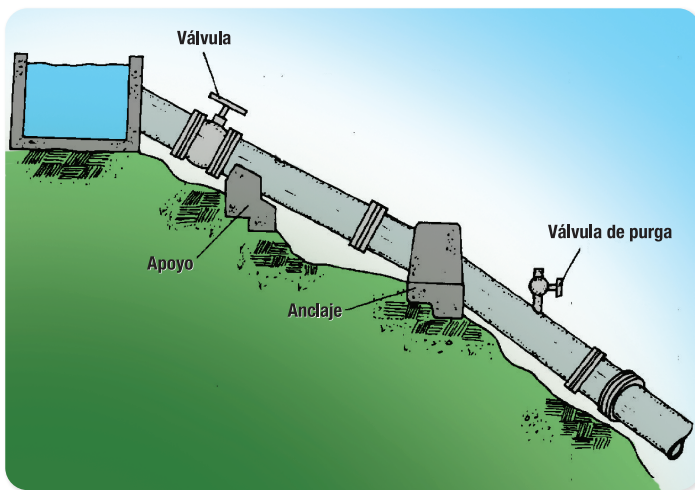
El tanque de carga es aquel que permite la conexión entre el sistema de conducción y la tubería de presión. En el tanque se produce una última sedimentación y eliminación de materiales sólidos que vienen por la tubería de conducción, además que garantiza un suministro constante del caudal de diseño a la turbina. Es útil además que a la salida del tanque exista una rejilla, que entregue el agua en buenas condiciones a la tubería de presión.

En diversos proyectos se presenta la posibilidad de construir el desarenador y tanque de carga como un solo conjunto. Con esto se ahorran costos al compartir muros y desagües. La configuración final es similar a la que se presenta a continuación.



Tubería de presión

La tubería de carga o presión es aquella que transporta el agua desde el tanque de carga hasta la turbina, permitiendo aprovechar la energía potencial del salto o cabeza de presión. El diámetro a emplear es el diámetro óptimo y económico que se ajuste a la turbina. La determinación de esta tubería tiene un procedimiento similar al de la tubería de conducción buscando siempre su buen funcionamiento hidráulico. Para esta tubería se pueden analizar las mismas alternativas de materiales propuestas para la tubería de conducción.

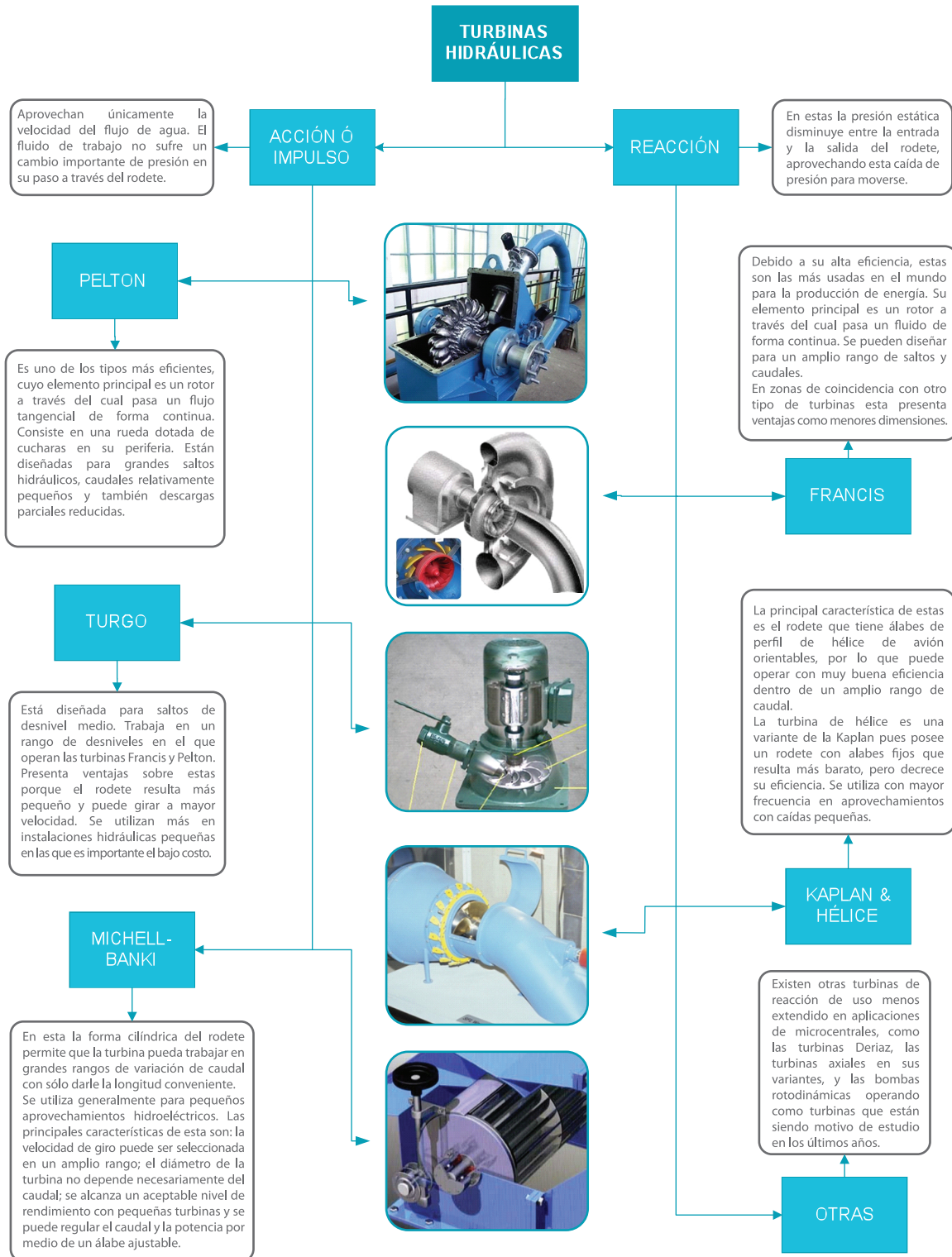


Anclajes y apoyos

Los apoyos que son los encargados de soportar el peso de la tubería y el agua que contiene, van ubicados entre los anclajes. Los anclajes son bloques de concreto que envuelven las tuberías, con el propósito de fijarlas al terreno; éstos deben ubicarse en todos los tramos de la tubería donde hayan cambios de dirección tanto en el sentido vertical como horizontal. En las microcentrales la tubería más utilizada es la de PVC, que se instala enterrada por protección. Debido a esto, las fuerzas ocasionadas por el peso en la tubería están distribuidas a lo largo de ella y son soportadas por el terreno. Para la tubería de PVC no se necesitan apoyos ya que éstos son sustituidos por el terreno mismo.

Turbina hidráulica

Es un tipo de máquina clasificada como turbo máquina hidráulica, 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 o paletas rotativas. Estas máquinas aprovechan la energía hidráulica disponible y la convierten en energía mecánica. A la selección de la turbina se le dedicará más adelante una explicación en detalle.



Generador

El generador es una máquina que convierte la energía mecánica en eléctrica. Existen dos tipos de generadores: los sincrónicos y los asincrónicos. En los generadores sincrónicos la conversión de la energía mecánica en eléctrica se produce a una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo. En los asincrónicos se utilizan motores trabajando de forma inversa como generadores.

La turbina y el generador se conectan a través de una transmisión. Este sistema transmite la energía desde el eje de la turbina hasta el eje del generador en la dirección y velocidad requerida. Regularmente se utiliza el acoplamiento directo, pero también existe la transmisión por correas en V, correas dentadas y transmisiones de engranajes. El tipo de transmisión seleccionada depende en gran parte de la potencia transmitida y del tamaño de la microcentral.

Sistemas de control

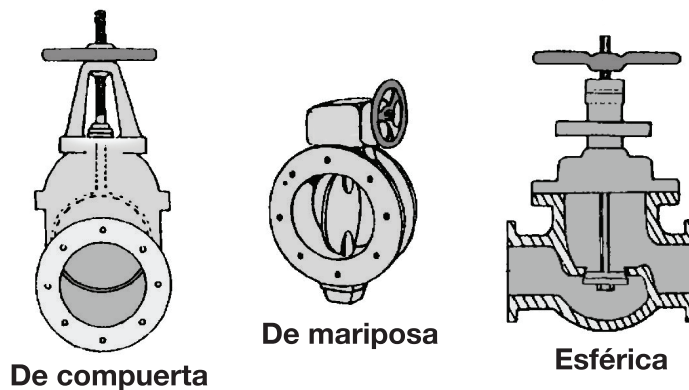
El tablero de instrumentación o control es un dispositivo que sirve para conectar la instalación eléctrica del consumidor a la red o línea de transmisión de la microcentral, normalmente en baja tensión o voltaje. Además de realizar la conexión, contiene fusibles para evitar que averías en la red del consumidor se devuelvan a la central o le generen daños mayores al consumidor.

El controlador de carga hace parte también del sistema de control y es un dispositivo electrónico que mantiene las turbinas funcionando a la frecuencia y voltaje adecuados. Los sistemas electrónicos se prefieren en las microcentrales frente a los sistemas mecánicos, debido a que estos últimos son costosos y lentos al reaccionar para cambiar la carga.

Generalmente la turbina, el generador y el sistema de control se encuentran en el mercado como un conjunto. De esta forma no hay que elegir cada uno de estos componentes por separado sino evaluar las opciones de suministro de los proveedores.

Válvulas y compuertas

La válvula principal es un dispositivo de aislamiento de la turbina respecto a la tubería de presión en caso de ocurrir una parada de la central. Se utilizan para realizar mantenimientos, reparaciones imprevistas y limpiezas. Éstas no necesariamente tienen que existir ya que este aislamiento también se puede dar en compuertas instaladas en la toma de la microcentral, que regularmente son compuertas verticales. Los diferentes tipos de válvulas pueden ser: de compuerta, de mariposa o esféricas.



Es importante considerar que se debe contar con un número adecuado de válvulas o compuertas que permitan el mantenimiento total de las instalaciones de la central, incluidos: el desarenador, tanque de carga, tuberías y turbina. Adicionalmente se debe tener en cuenta que la disposición de las válvulas debe permitir la detención e inicio de forma lenta de la turbina asegurándose que a ésta no le entre aire por la tubería de presión. Las válvulas más utilizadas son las de mariposa por su bajo costo y fácil operatividad.

Casa de máquinas

Esta es una construcción civil destinada a albergar el conjunto turbina/generador y el sistema de control. Además esta tiene como propósito garantizar el aislamiento y protección del ambiente de los componentes ya mencionados. Esta construcción deberá ser lo suficientemente amplia para permitir el mantenimiento, operación en los equipos, así como garantizar la seguridad de cualquier persona que ingrese.

Transformador

El transformador es una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir el voltaje y corriente en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia y la potencia transferida. La función del transformador es aumentar la tensión antes de transportar la energía a grandes distancias con el fin de reducir la intensidad y así reducir también las pérdidas asociadas en la conducción de la energía. La otra función de los transformadores es bajar la tensión para poder distribuir y consumir la energía eléctrica a valores que sean seguros para la gente.

Líneas de transmisión

Las líneas de transmisión de energía eléctrica son los eslabones entre las centrales generadoras y las redes de distribución o centros de consumo. Se encargan del transporte de la energía eléctrica a elevadas tensiones de voltaje, lo suficientemente alto como para un transporte económico.

Para garantizar el transporte, manejo y distribución de la energía generada, se debe contar con el apoyo de un experto.

PARA LOS INTERESADOS EN EL PROCESO DE DISEÑO DE COMPONENTES DE UNA MICROCENTRAL

Si se desea realizar o verificar el diseño de los componentes de una microcentral se exponen a continuación unos puntos concretos que se deberán tener en cuenta al momento de abordar este proceso. Esta orientación permite lograr un pre dimensionamiento de las diferentes obras y equipos requeridos. Cabe aclarar que los diseños de detalle como análisis estructural de obras deben ser abordados con mayor detenimiento.

Bocatoma

El diseño de una bocatoma de rejilla de fondo se basa en las siguientes consideraciones,

- Vertedero calculado para el caudal de crecidas con la ecuación de Francis
- Diseño del perfil del vertedero luego de conocer la carga total energética del agua en el azud
- Dimensionamiento del pozo de amortiguación: Longitud del pozo y altura del diente del dique
- Dimensionamiento de la rejilla de captación, basado en la ecuación del orificio utilizando el caudal mínimo que pasaría por encima de la rejilla para garantizar la captación requerida
- Se define el tipo de rejilla a utilizar para conocer la relación de espaciamiento de ésta
- Diseño del canal recolector para flujo subcrítico y pendiente que garantice auto limpieza del canal
- Dimensionamiento de la caja de salida que recolecta el agua que entra por la rejilla. Este dimensionamiento está sujeto a la sumergencia que debe tener la tubería de conducción
- La caja de salida cuenta con un vertedero de excesos y una tubería de desagüe que retorna el exceso a la quebrada
- La bocatoma cuenta con unos muros laterales de protección contra crecientes de la quebrada

Conducción

En el caso de utilizar tubería para conducción se debe estudiar su selección siguiendo unos pasos como los descritos a continuación,

- Se calcula la longitud de la tubería
- Se define el material de la tubería para conocer sus propiedades
- Se establece un diámetro tentativo para el que se realizarán comprobaciones
- Se deben determinar las pérdidas por fricción
- Se calculan las pérdidas por turbulencia debido a la forma de la entrada del agua en la tubería, y todos los demás accesorios como curvas y válvulas
- Se procede a calcular el espesor teórico requerido de la pared
- Se compara la disponibilidad comercial de tuberías que cumplan las exigencias encontradas. En caso contrario se recalcula la tubería para otro diámetro o material
- Se diseñan los apoyos y anclajes requeridos para la conducción, buscando contrarrestar las fuerzas del agua que se generen en desniveles y cambios de dirección.

Desarenador

Elementos a considerar en los cálculos de diseño de esta obra,

- Se determina la partícula a sedimentar, incluyendo el tipo de material, diámetro y porcentaje de sedimentación
- Conociendo el tamaño y las propiedades de la partícula, se calcula la velocidad de sedimentación
- Dependiendo de esta velocidad, se conocen el tiempo de sedimentación, área de la sección transversal y capacidad volumétrica del desarenador
- La profundidad del desarenador la define el diseñador, se recomienda no ser inferior a 1,5 m
- El ancho del desarenador se conoce sabiendo el área de la sección transversal y la profundidad
- El largo del desarenador se recomienda ser igual a 4 veces el ancho
- Para la cámara de lodos se debe agregar de 40 a 60 cm a la profundidad y tener una leve inclinación para evacuación de lodos
- La pantalla deflectora es una pared con tubos al inicio del desarenador que estabiliza el flujo. La velocidad del agua a través de los tubos no debe superar los 0,20 m/s
- El desarenador debe contener vertedero de excesos, salida y desague de lodos

Cámara o tanque de presión

En el cálculo de este componente se pueden abordar los siguientes lineamientos,

- El volumen definido debe garantizar el volumen de reserva deseado
- Un criterio para lo anterior puede ser que el agua almacenada, como mínimo, permita que la tubería de presión trabaje a tubo lleno
- Se calcula el dimensionamiento: base, altura efectiva y longitud
- Se determina la superficie requerida para la rejilla del tanque, considerando una inclinación y una velocidad de entrada a la rejilla que debe ser cercana a los 0,25 m/s
- La altura efectiva del tanque de carga debe garantizar la sumergencia de la tubería de presión para que ésta funcione bien hidráulicamente

Tubería de presión

Para el diseño de ésta se tienen las siguientes consideraciones,

- Se calcula la longitud de la tubería para abastecer la turbina
- Se define el material a utilizar para conocer las propiedades
- Se establece un diámetro tentativo para el que se realizarán comprobaciones
- Se calculan las pérdidas por fricción basándose en el factor de fricción, la longitud y el diámetro tentativo
- Se consideran las pérdidas en la rejilla del tanque de carga y las demás pérdidas por turbulencia
- Se calcula espesor teórico requerido considerando además sobrecarga por golpe de ariete
- La tubería de presión debe tener una sumergencia en el tanque de carga que evite su aireación
- Se diseñan los apoyos y anclajes requeridos para la tubería, buscando contrarrestar las fuerzas del agua que se generen en desniveles y cambios de dirección.

Anclajes y apoyos

Elementos a considerar en los cálculos de estos componentes,

- La fuerza de fricción entre el concreto y el suelo depende del peso de la tubería llena de agua, el ángulo de inclinación de la tubería, la longitud de la tubería sujeta a movimiento y el coeficiente de fricción
- Las fuerzas en el cambio de dirección debido a la presión hidrostática dependen de la presión en la tubería debido al cambio de altura y el ángulo de inclinación de la tubería arriba y abajo del punto del anclaje
- Las fuerzas en el cambio de dirección debido a la cantidad de movimiento dependen del caudal de diseño, el diámetro de la tubería y el ángulo de inclinación de la tubería arriba y abajo del punto del anclaje
- En el análisis estructural se deben considerar la sumatoria de las fuerzas anteriores descomponiéndolas en sus componentes vertical y horizontal

Selección de turbinas

Para la preselección de una turbina hidráulica es importante conocer los siguientes parámetros:

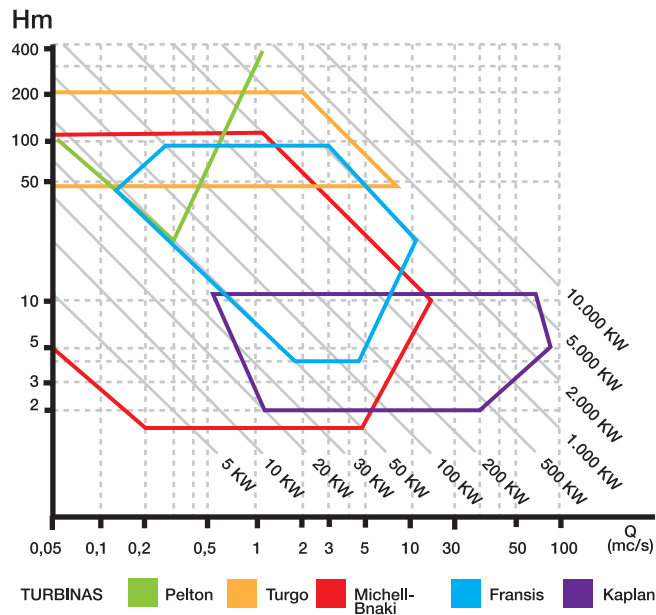
- Cabeza de presión (salto)
- Flujo de Agua (caudal)
- Potencia requerida

Rangos de las turbinas

La siguiente Tabla muestra las características principales de las turbinas hidráulicas incluyendo el rango de saltos de operación, caudales y eficiencia máxima.

TURBINA		Q (m ³ /s)	H (m)	P (kW)	η_{max} (%)
A C C I Ó N	PELTON	0.05 - 50	30 - 1800	2 - 300000	91
	TURGO	0.025 - 10	15 - 300	5 - 8000	85
	MICHELL-BANKI	0.025 - 5	1 - 50 (200)	1 - 750	82
R E A C C I Ó N	FRANCIS	1 - 500	2 - 750	2 - 750000	92
	KAPLAN y de hélice	1000	5 - 80	2 - 200000	93

Además la clasificación puede estar enmarcada en un gráfico como el siguiente donde se muestran los rangos de operación de las turbinas teniendo en cuenta la potencia generada por la cabeza de presión en metros y el caudal que se da en m³/s. Con esto es posible aterrizar las potencias alcanzables al tener una estimación de los parámetros.



Conociendo los parámetros de caudal y salto se puede abordar la tabla y el gráfico anterior para hacer una preselección de la turbina que cumpla con la potencia que se quiere obtener. Esta información puede variar de acuerdo a las tecnologías de cada fabricante.

Es importante tener en cuenta que las turbinas hidráulicas utilizadas en microcentrales deben ser seleccionadas de modo que se obtenga facilidad de operación y mantenimiento. Así mismo para su selección se debe analizar:

- El precio en relación al origen y fabricante del equipo
- El respaldo del fabricante como las garantías ofrecidas, atención, servicio y cambio de partes
- El aprovechamiento ha de efectuarse con rendimiento elevado, para que la instalación sea rentable
- La velocidad angular del equipo debe ser lo más alta posible para conseguir de este modo transmisiones más ligeras
- La buena regulación que facilite la operación del equipo

Tenga en cuenta que al seleccionar la turbina, el proveedor del equipo será de gran ayuda. Para que éste pueda darle una buena asesoría en cuanto a cuál es el mejor equipo para las condiciones de su proyecto, será necesario que usted le suministre la siguiente información como mínimo:

- Caudal de agua
- Cabeza de presión
- Potencia deseada
- Fases y frecuencia de operación del generador
- Longitud de la tubería desde la cámara de carga hasta la turbina

En Antioquia la mayoría de quebradas son de montaña lo que significa que son más representativas por sus caídas y velocidades de corriente, que por sus caudales. Esto no significa que no existan quebradas con grandes caudales aprovechables. Para quebradas más pequeñas con caudales inferiores a 1 m³/s se recomiendan las turbinas de acción (Pelton, Turgo, Michell-Banki). Para quebradas más caudalosas, se recomiendan las turbinas de reacción (Francis y Kaplan) y en ciertas aplicaciones la turbina de acción (Pelton).

TODA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA TIENE TAMBIÉN UN IMPACTO AMBIENTAL

La generación hidroeléctrica a pequeña escala es poco contaminante ya que no necesita para su producción ninguna combustión ni generación de residuos. Es importante que se preste especial atención al caudal ecológico del curso utilizado para la producción eléctrica, para conservar el ecosistema fluvial y evitar alteraciones en la flora y fauna del entorno.

En Colombia, proyectos hidroeléctricos por debajo de los 10 MW no requieren licencia ambiental, pero deben tenerse en cuenta permisos como concesión de aguas, ocupación de cauces y todos los demás trámites que sea necesario adelantar ante la autoridad ambiental competente.

Hay una serie de posibles impactos ambientales que se pueden causar en el medio donde se aloja la microcentral, por lo que deben reconocerse y considerarse en el desarrollo del proyecto. Estos impactos son:

- **Sistema acuático:** La alteración que va a sufrir el cauce del agua, crea un impacto considerable sobre su ecosistema, ya que se produce una alteración sobre la población piscícola y además se disminuye la capacidad de autodepuración del cauce en el tramo interrumpido.
- **Pérdida de suelos y erosión:** La construcción representa una invasión de terreno al abrir espacio para las instalaciones y caminos de acceso a ella. Además se presenta la erosión del suelo al desaparecer la cubierta vegetal en aquellas zonas donde ha habido movimientos de tierras para construcciones, caminos, canales, entre otras obras.
- **Alteraciones sobre la fauna:** La fauna piscícola es la más afectada por la microcentral. Se da pérdida del hábitat de algunas especies debido a la construcción, que entre otras cosas puede generar ruido que las hace alejarse de la zona.
- **Otras alteraciones:** Las microcentrales hidroeléctricas debido a su reducido tamaño e infraestructura, tienen bajos impactos hacia la atmósfera, el medio social y los cambios drásticos que puedan darse en el paisaje.

VIABILIDAD FINANCIERA DE UNA MICROCENTRAL

La viabilidad financiera de un proyecto de una microcentral se puede dar por dos razones: el ahorro que significa la energía que se deja de pagar en servicios o el ingreso que representa la venta de los kilovatios generados. Los costos que se consideran son: los costos de las obras civiles, el equipo electromecánico y los diferentes montajes e instalaciones; los costos intangibles de diseños y asesorías. Se deben estimar también los costos de operación y mantenimiento. Estos costos se contrastan en un flujo de caja con los beneficios económicos de la microcentral, teniendo en cuenta además valores de salvamento para aquellos equipos y obras que puedan tener un valor residual al final del proyecto.

Lo importante de la evaluación financiera es poder encontrar un valor presente positivo para el proyecto. Esto garantiza que la relación costo-beneficio es mayor que 1, es decir que por cada peso invertido, el beneficio es mayor a ese peso. La evaluación financiera permite también conocer el período de recuperación de la inversión para decidir si es atractivo o no. Otro tipo de análisis que se pueden hacer, son análisis de sensibilidad que involucren por ejemplo variables como el comportamiento del proyecto ante variaciones del precio del kilovatio-hora en el mercado de energía eléctrica.

Las microcentrales hidroeléctricas no deben ser un tema ajeno para los antioqueños. El aprovechamiento del recurso hídrico puede ser un gran aliado en el desarrollo de proyectos de generación hidroeléctrica con energías renovables; un tema fundamental para el progreso de Antioquia enmarcado en los lineamientos mundiales de desarrollo sostenible. Proyectos que garantizarán un ambiente sano para las generaciones futuras.

BIBLIOGRAFÍA

- Coz, F. et al. (1995). **Manual de Mini y Microcentrales hidráulicas**. Lima: ITDG. ISBN 1-85339-278-2
- European Small Hydropower Association (ESHA). (1998). **Manual de pequeña hidráulica**. (C. Penche, Ed.) Bruselas.
- Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA). (1997). **Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas**. Bogotá: INEA.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2006). **Manuales de energías renovables: Minicentrales hidroeléctricas**. URL:<www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos_documentos/Minicentrales_hidroelectricas.pdf>
- Materón Muñoz, H. (1997). **Obras hidráulicas rurales**. Cali: Universidad del Valle.

AUTORES:

Daniel E. Gómez Cárdenas
Jorge Posada Escobar

UNIVERSIDAD EAFIT
Medellín - Colombia
2009