



Programa de la asignatura:

Seminario de energía eólica e hidráulica

U3

Sistema de energía hidráulica





Índice

Presentación de la unidad	4
Propósitos	6
Competencia específica.....	7
3.1. Energía hidráulica para generación de electricidad	8
3.1.1. Transformación de la energía potencial del agua.....	11
3.1.2. Componentes eléctricos y mecánicos de generadores hidroeléctricos.....	15
3.1.3. Funcionamiento de un generador hidráulico	21
3.1.4. Tipos de generadores hidráulicos	22
3.2. Control de potencia hidráulica	23
3.2.1. Sistema de control hidráulico	23
3.2.2. Diagrama de presiones y fuerza ejercida del agua a su paso entre los álabes	24
3.2.3. Rendimiento hidráulico, volumétrico, orgánico y global.....	25
3.2.4. Turbinas Pelton, Francis, Kaplan y Bulbo.....	26
3.2.5. Válvulas de alivio o de reducción de presión y descarga de bombas.....	33
3.3. Almacenamiento del agua	34
3.3.1. Selección de la bomba de acuerdo al análisis sobre el caudal y de la altura	35
3.3.2. Curva de altura-caudal, curva caudal-potencia y curva de eficiencia.....	36
3.3.3. Succión positiva y succión negativa	38
3.4. Operación de generadores hidráulicos de electricidad	38
3.4.1. Instalación y operación de sistemas de energía eléctrica e hidráulica	40
3.4.2. Centrales hidroeléctricas	40
3.4.3. Software para modelar centrales hidroeléctricas	42



Cierre de la unidad	43
Para saber más.....	44
Fuentes de consulta	46



Presentación de la unidad



Bienvenidos(as) a la Unidad 3, en la cual se describen los sistemas de energía hidráulica, los cuales se denominan como plantas de generación hidroeléctrica. En México existe una de las más grandes llamadas, *El cajón*, es una planta hidroeléctrica de gran precedencia, construida por ingenieros mexicanos y, recientemente, aún más grande *La yesca*, situada en el mismo cauce del río Santiago, en los límites de Nayarit con Jalisco, en el poblado de Hostotipaquillo, Jalisco.

Por otro lado, se describen las centrales hidroeléctricas de Itaipú, situadas en el río Paraná, generadoras de la energía eléctrica para Brasil y Paraguay, así como la de *Tres gargantas*, en China; de tal manera que esto te permita contextualizar los principales elementos del sistema de energía hidráulica, tales como las turbinas de reacción hidráulicas, las cuales se aplican invariablemente en las centrales de generación hidroeléctricas, además de exponer sus diferentes clases, los parámetros clave para su selección y óptima aplicación.

La importancia de esta unidad está relacionada al gran potencial de recurso hidráulico con el que contamos en México y el mundo, ya que es una fuente natural para producir energía eléctrica, por ejemplo, la implementación de una micro hidroeléctrica es factible hasta en pequeños cauces de ríos. Asimismo, en segundo



lugar, en dimensión, están las catalogadas minicentrales hidroeléctricas, las cuales tienen una gran viabilidad porque con una pequeña represa es posible producir energía eléctrica. Finalmente, están las grandes centrales hidroeléctricas mencionadas en el párrafo anterior.

Con base en lo anterior, te invito a continuar con esta unidad temática en la que se te explicará a detalle el sistema de energía hidráulica para generar energía eléctrica renovable.



Propósitos



- 1** **Analizar** los componentes para construir sistemas mini o micro hidráulico.
- 2** **Clasificar** los distintos tipos de minicentrales y **construir** un mini o micro generador.
- 3** **Aplicar** los elementos de control y operación en sistemas de aprovechamiento de la mini y micro hidráulica.
- 4** **Comprobar** el funcionamiento del sistema mini o micro hidráulico.



Competencia específica



Unidad 3

Construye un sistema micro o minihidráulico para la generación de energía eléctrica mediante la selección de la turbina y del dispositivo electromecánico, la medición eléctrica, la selección de almacenamiento y operación.



3.1. Energía hidráulica para generación de electricidad

La energía hidráulica es la energía obtenida de la energía cinética y potencial producida por el agua y sus corrientes. Este tipo de energía es considerada verde, por su alto nivel de contaminación y su alto nivel de renovación.

La principal fuente de energía en la antigüedad fue el “molino griego”, constituido por un eje de madera vertical, en cuya parte inferior había una serie de paletas sumergidas en el agua, el eje pasaba a través de la máquina inferior y hacia girar a la máquina superior a la cual estaba unido. Este sistema era utilizado principalmente para la molienda del grano.



Figura 1. Molino griego o hidráulico.

La energía hidráulica es una fuente renovable para generar electricidad, ya que en el planeta se tienen grandes cauces de agua y estos han sido bien aprovechados para construir e instalar centrales de generación hidroeléctrica. En México, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la responsable de que se lleven a cabo estos grandes desarrollos, cuidando el entorno para no crear un gran impacto ambiental, realizando estudios específicos, además de los topográficos, geológicos, ambientales y sociales de las regiones en las que se instalan.

Una central hidroeléctrica es aquella que se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a un nivel más alto que la central.

Las turbinas hidráulicas son el elemento principal para aprovechar la energía hidráulica y generar electricidad, debido a que estas están acopladas a un generador eléctrico de forma similar al sistema eólico.



Desde su invención y hasta la fecha, se utilizan tres tipos de estas: la inventada por James Francis, por Lestes Alban Pelton y por Víctor Caplan, de ellos surgió el nombre de las turbinas hidráulicas: Francis, Pelton y Caplan; las cuales se describirán más adelante.

Se construyen presas para aprovechar mejor el agua llevada por los ríos, regulando el caudal en función de la época del año y aumentando el salto.

Las características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad son:

- La potencia, que es función del desnivel que existe entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y del caudal máximo que puede ir a la turbina, además de las características de esta y el generador.
- La energía garantizada en un lapso determinado, generalmente un año, que está en función del volumen útil del embalse, de la pluviometría anual y de la potencia instalada.

En México un 22% de la energía eléctrica se obtiene a partir de los cauces de ríos, en las centrales hidroeléctricas, estas constituyen la segunda fuente de aprovechamiento de las energías renovables por la CFE; con una capacidad efectiva de 11,054 MW para el suministro energía eléctrica a los usuarios de este país.



Tabla 1. Algunas centrales hidroeléctricas alrededor del mundo.

	Las Tres Gargantas China 22,500 MW
	Itaipú Brasil - Paraguay 14,000 MW
	Guri Venezuela 10,200 MW
	Bratsk Rusia 4,500 MW
	La Yesca México 750 MW

Algunas ventajas e inconvenientes de las centrales hidroeléctricas:

Ventajas

- Disponibilidad: El ciclo del agua lo convierte en un recurso inagotable.
- Energía limpia: No emite gases de efecto invernadero, ni lluvia ácida, ni emisiones tóxicas.
- Energía barata: Sus costes de exploración son bajos, y la mejora tecnológica hace que se aproveche de manera eficiente los recursos hidráulicos disponibles.
- Trabaja a temperatura ambiente: No son necesarios sistemas de refrigeración o calderas, que consumen energía, y en muchos casos, contaminan.
- El almacenamiento de agua: permite el suministro para riego o la realización de actividades de recreo, además de la regulación del caudal, que controla el riesgo de inundaciones.



Inconvenientes

- Construcción y puesta en marcha: Se requiere de inversiones importantes, y los emplazamientos en donde se pueden construir centrales hidroeléctricas en buenas condiciones económicas son limitadas.
- Dificultades con la biodiversidad: algunas especies se ven afectadas como los salmones, que tienen que remontar ríos para desovar, por su parte, los embalses afectan a los cauces, provocan erosión, e inciden en general sobre el ecosistema del lugar.
- Empobrecimiento del agua: El agua embalsada no tiene las condiciones de salinidad, gases disueltos, temperatura, nutrientes, y demás propiedades de agua que puede dejar sin caudal mínimo el tramo final de los ríos, especialmente en épocas de sequía.
- Transporte de la energía eléctrica: Los emplazamientos hidráulicos suelen estar lejos de las grandes poblaciones, por lo que es necesario transportar la energía eléctrica producida a través de costosas redes.

3.1.1. Transformación de la energía potencial del agua

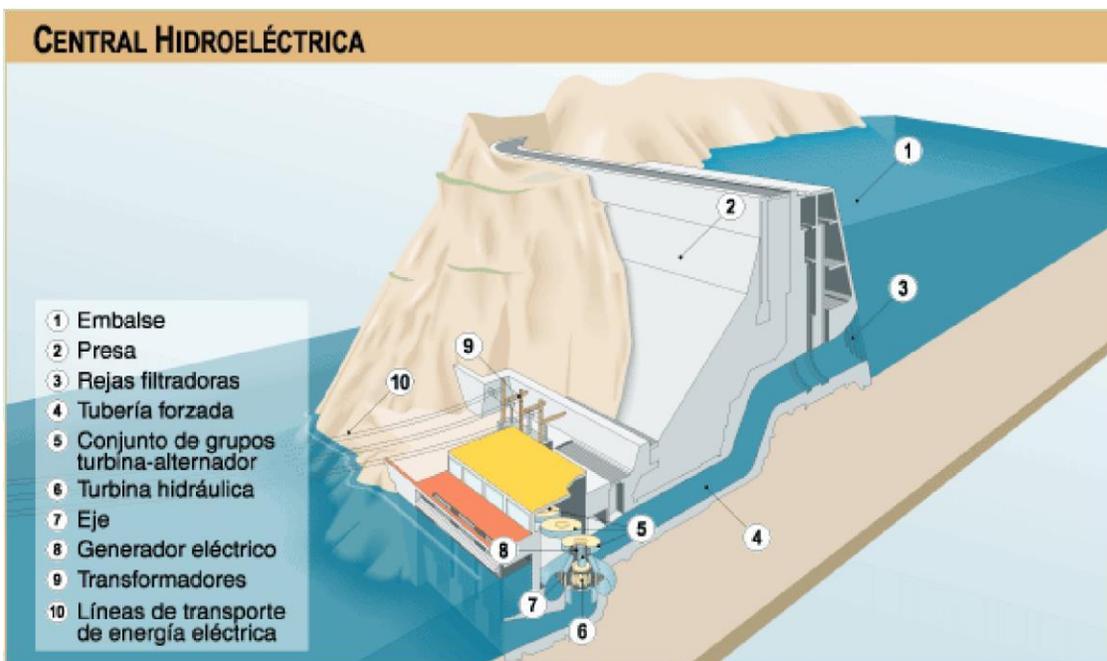


Figura 2. Esquema general de una central hidroeléctrica.



Embalse: es el volumen de agua que queda retenido, de forma artificial, por la presa. Se suele colocar en un lugar adecuado geológica y topográficamente.

Presa: se encarga de contener el agua de un río y almacenarla en un embalse.

Rejillas filtradoras: su objetivo es retener los elementos sólidos que puede transportar el agua, para evitar dañar las conducciones hidráulicas y la turbina hidráulica.

Tubería forzada, de presión o impulso: conducto que transporta el agua a presión hasta la turbina hidráulica. La energía potencial (masa a una cierta altura) que tiene el agua en el embalse va transformándose a lo largo de esta tubería en energía cinética, es decir, va adquiriendo velocidad.

Turbina hidráulica: equipo mecánico que permite transformar la energía cinética del agua en energía mecánica de rotación. Hay diversos tipos de turbinas en función de las características del salto, es decir, de su altura y de su caudal medio.

Generador eléctrico: equipo que produce la electricidad al convertir la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica de media y alta intensidad.

Transformador: equipo que eleva la tensión de la corriente eléctrica producida por el generador eléctrico, para minimizar las pérdidas en el transporte.

Línea de transporte de energía: son los elementos por los que se transporta la electricidad producida en la central hasta la red general de transporte y distribución del sistema.

Aliviaderos: aliviaderos compuertas y válvulas de control. Todas las centrales hidroeléctricas disponen de dispositivos que permiten el paso del agua desde el embalse hasta el cauce del río, aguas abajo, para evitar el peligro de desbordamiento que podrían ocasionar las crecidas. En estos casos es necesario poder evacuar el agua sobrante sin necesidad de que pase por la central.

Válvulas: para controlar y regular la circulación del agua por las tuberías.

Chimeneas de equilibrio: pozos de presión de las tuberías, que se utilizan para evitar el llamado “golpe de ariete”, que se produce cuando hay un cambio repentino de presión debido a la apertura o cierre rápido de las válvulas en una instalación hidráulica.



La transformación de la energía potencial del agua en otra forma de energía se da principalmente cuando esta se encuentra en movimiento, es decir, en energía cinética como resultado de energía potencial.

Para incrementar la energía potencial del agua y ser empleada para generar energía eléctrica en grandes cantidades, es necesario contener el cauce de un río en una presa, construyendo una gran cortina de concreto. Esta presa es capaz de contener el agua del río, para posteriormente encausarla por el interior de la cortina o presa (muro de contención), de tal forma que la energía potencial aumente y se tenga una mayor energía cinética al llegar a la turbina, la cual impulsa al generador para la producción de electricidad.

La energía hidroeléctrica es denominada como una fuente de energía renovable, y este seminario se ocupa de estudiar su potencial y la forma de cuantificarlo, por lo cual es necesario apoyarse en el concepto de potencial hidroeléctrico, que hace referencia a la energía que se encuentra contenida dentro de un cauce de agua.

Es posible resaltar tres formas de potencial hidroeléctrico:

1. Teórico, el cual es la energía teórica del curso del agua y es obtenido con base en cálculos, según las características de la zona.
2. Técnico, esta es la energía del curso del agua, que es posible utilizar considerando las pérdidas y es resultado de las mediciones en campo.
3. Económico, es la energía del curso de agua, cuya utilización resulta efectiva económicamente y viable para la implementación de las centrales hidroeléctricas.

De lo anterior, es posible considerar que la transformación de la energía potencial del agua o potencial hidroeléctrico tiene una relación porcentual que cambia de acuerdo al tipo de río y su propia potencia, el rango está desde un 10% hasta un 65%; a nivel mundial, este término se valora en un rango porcentual del 60%; este dato porcentual determina el potencial hidroeléctrico, la transformación de la energía potencial del agua y la pertinencia de la implementación de una central hidroeléctrica.

El potencial hidroeléctrico económico forma parte integral del potencial hidroeléctrico técnico, este representa un 47% a escala mundial. En este sentido, la diferencia del potencial hidroeléctrico económico con el teórico y técnico, tiene variaciones con respecto al tiempo de utilización, éste depende de las condiciones energéticas naturales de la zona, así como consideraciones económicas correlacionadas, por



ejemplo, la demanda de energía eléctrica, el costo de los hidrocarburos, estudios de sitio, valoración del impacto ambiental, trabajos de construcción, aspectos sociales, entre muchos otros.

El estudio del potencial hidroeléctrico del agua conlleva una gran inversión de diversos recursos, dando como resultado una central hidroeléctrica viable, así mismo implica la instalación de diversos sistemas, entre ellos, están dos grupos: los sistemas mecánicos y eléctricos, de tal manera que den como resultado la producción de energía eléctrica a partir del agua, conocida como potencia hidro energética, en la cual tiene lugar la transformación de la energía mecánica del líquido (energía cinética) en energía eléctrica. La ecuación de Bernoulli describe el comportamiento de un fluido bajo condiciones variantes y consta de tres componentes: la energía de presión, energía cinética y energía potencial.

$$P + \frac{1}{2} \rho V^2 + \rho g z = \text{constante} \quad (1)$$

En donde:

$e = \text{Constante}$

$P = \text{presión a lo largo de la corriente}$

$V = \text{velocidad del fluido en una sección}$
considerada

$g = \text{aceleración gravitatoria}$

$z = \text{altura en la dirección de la gravedad}$

$\rho = \text{densidad del fluido}$

Cuando el líquido está en movimiento en los dispositivos que lo suministran hacia la turbina, parte de la energía se pierde al tener que vencer las resistencias hidráulicas, por ejemplo: en la entrada en su curso hacia la turbina, en las rejillas de entrada, en los giros, a lo largo de la conducción forzada y finalmente cuando llega a la turbina. Este teorema es de particular importancia debido a que el potencial de fluido es aprovechado por las aspas de las turbinas para impulsarlas, que giren y a su vez transmitir ese movimiento al generador eléctrico.



3.1.2. Componentes eléctricos y mecánicos de generadores hidroeléctricos

Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura o estator. Si mecánicamente se produce un movimiento relativo entre los dos conductores y el campo, se genera una fuerza electromotriz.

Para construir un generador eléctrico se utiliza el principio de “inducción electromagnética” descubierto por Michael Faraday en 1831, y que establece que, si un conductor eléctrico es movido a través de un campo magnético, se inducirá una corriente eléctrica que fluirá a través del conductor.

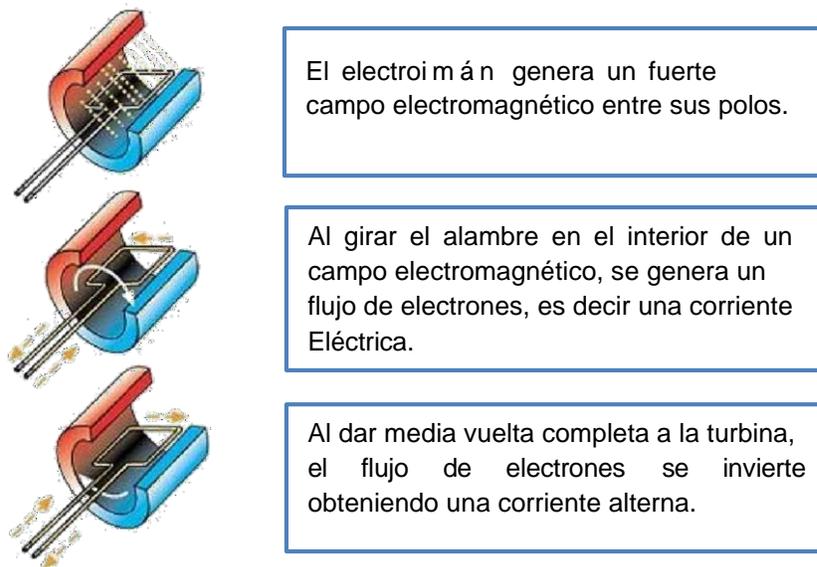


Figura 3. Corriente eléctrica.

Los generadores síncronos son los más indicados para utilizarse en donde se tienen flujos en grandes velocidades, por ejemplo, en centrales hidroeléctricas, a estos se les denomina turbogeneradores y esta es considerada una máquina de inducción que así mismo es un generador síncrono trifásico, está construido por tres devanados dispuestos en el estator, durante el proceso de giro del rotor y al pasar por cada uno



de los devanados se genera la tensión alterna a una frecuencia de 60 Hz., esto permite que se produzca energía eléctrica.

El generador síncrono, o también llamado alternador, es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica (en forma de rotación) en energía eléctrica. Son encargados de generar la mayor parte de la energía consumida en la red, y su respuesta dinámica resulta determinante para la estabilidad del sistema después de una perturbación. Por ello para simular la respuesta dinámica de un sistema eléctrico es imprescindible modelar adecuadamente los generadores síncronos.

Los generadores síncronos funcionan bajo el principio de que un conductor sometido a un campo magnético variable crea una tensión eléctrica inducida cuya polaridad depende del sentido del campo y su valor del flujo que lo atraviesa. La razón por la que se llama generador síncrono es la igualdad entre la frecuencia eléctrica y la frecuencia angular, es decir, el generador girara a la velocidad del campo magnético, a esta igualdad de frecuencias se le denomina sincronismo.

Componentes eléctricos

Los componentes eléctricos que tienen como finalidad la transformación de tensión, así como la medición de los distintos parámetros eléctricos como la corriente (I en amperes), la conexión a la red eléctrica de salida y su distribución para que llegue al usuario final. Además del generador eléctrico, otro elemento que es de suma importancia es el transformador de tensión, que depende de la tensión a la que trabaje un generador, dicha transformación puede ser de baja a media tensión o media a alta tensión.

Los componentes eléctricos también son aquellos que forman parte del sistema eléctrico de la central, siendo los generadores los principales elementos.

El sincronismo está dado por la siguiente expresión:

$$N_s = 60f/P$$

Donde:

N_s = Velocidad de sincronismo expresada en r.p.m.

f = Frecuencias, Hz (60 Hz en México).

P = Número de pares de polos en el generador.



En este tipo de generadores, el campo magnético es creado por las bobinas arrolladas en los polos del rotor, por lo cual, en dichas bobinas circula una corriente continua. Se deben emplear sistemas de excitación para crear el campo eléctrico, entre ellos: autoexcitación estática, excitación con diodos giratorios y excitación auxiliar.

Se te invita a ver la siguiente fotografía de la Central Hidroeléctrica Manuel M. Diéguez, situada en el poblado de Santa Rosa, Jalisco.



Figura 4. Estator de generador. Central Hidroeléctrica Manuel M. Diéguez. Foto tomada por Ing. Cesar M. López Andrade; bajo autorización del Jefe de casa de máquinas, (2012).

A continuación, se detallan los elementos que integran a un generador:

- **Estator:** constituye la parte estacionaria o fija de la máquina dentro de la cual gira un rotor. Su principal función es la de suministrar el flujo magnético que es utilizado por el embobinado del rotor para realizar su movimiento giratorio; de tal forma que se genere un campo electromagnético y este se corte por el rotor para así producir electricidad.
- **Armazón:** este elemento también es conocido como yugo; cuenta con dos funciones principales, una es dar soporte y otra es proporcionar una trayectoria de retorno al flujo magnético que viene del rotor y del imán permanente, y así



completar el circuito magnético que da lugar al aprovechamiento de la electricidad generada.

- **Imán permanente:** a este elemento se le denomina imán debido a que está compuesto de material ferromagnético, como los imanes de neodimio que cuentan con un gran potencial magnético, el imán permanente en un generador se encuentra fijo al armazón, la función de este es la de proporcionar el campo magnético uniforme al devanado del rotor, de esta forma que este interactúe con el campo que se forma por el embobinado, y este de origen a que se mueva el rotor como resultado del movimiento de estos dos campos.
- **Tapas:** estas son las que dan soporte al eje, por medio de cojinetes o rodamientos para permitir el movimiento sin fricción, así mismo una de las tapas aloja la porta escobillas en conjunto con las escobillas, estas permiten el contacto con el conmutador o colector.
- **Escobillas:** son elementos que están contruidos con carbón, de ahí su nombre coloquial de carbones, estos poseen una dureza inferior a la del colector en el que siempre están en contacto, por lo tanto, su baja dureza evita que haya desgaste en el colector del rotor de manera acelerada. La función principal es transmitir tensión y corriente de la fuente de alimentación hacia el colector y por consecuencia al embobinado del rotor.
- **Porta escobillas:** este elemento es el que aloja las escobillas, además es el que da la firmeza para un correcto contacto de forma permanente con los segmentos del colector del rotor.



La siguiente figura ilustra las partes del generador eléctrico.

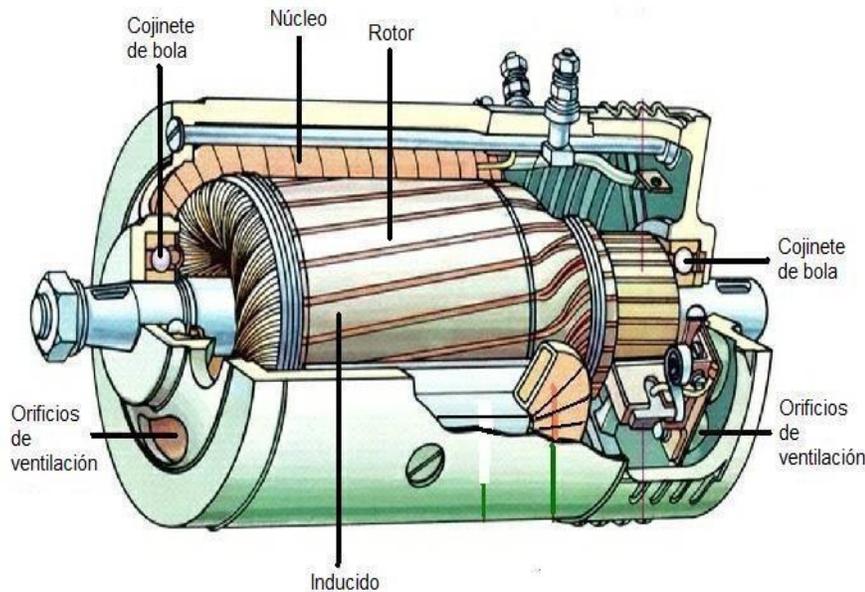


Figura 5. Generador síncrono y sus partes que lo integran.

Componentes mecánicos

En orden de importancia, los componentes mecánicos son:

- Rodete con sus cangilones (álabes) como parte de la turbina: está formado por una corona de paletas fijas, torsionadas de tal forma que reciben el agua en dirección radial y la orientan axialmente provocando el giro.
- Válvula de la turbina: esta válvula permite interrumpir el flujo del agua que entra a la turbina en los casos que sea necesario, como por ejemplo el servicio de mantenimiento del generador y casos de paros del equipo.
- Chumaceras: son los elementos que permiten que exista un giro sin contacto ni fricción.
- Carcasa: se une a la salida de la tubería a presión y su función es la de asegurar un flujo de agua uniforme hacia el distribuidor.
- Distribuidor o corona directriz: este contiene una serie de álabes fijos o móviles que orientan el agua hacia el rodete.
- Cámara de descarga: su objetivo es descargar el agua de la turbina al río y así minimizar las pérdidas y transformar la energía cinética del flujo a la salida del rodete.
- Sistema hidráulico de frenado: su objetivo es frenar el rotor al 10% de su velocidad nominal y levantar el rotor para mantenimiento de la chumacera.



En la siguiente figura se puede observar una turbina en todo su conjunto y cómo el generador eléctrico forma parte de esta, los componentes mecánicos, su función y cómo interactúan con el generador:

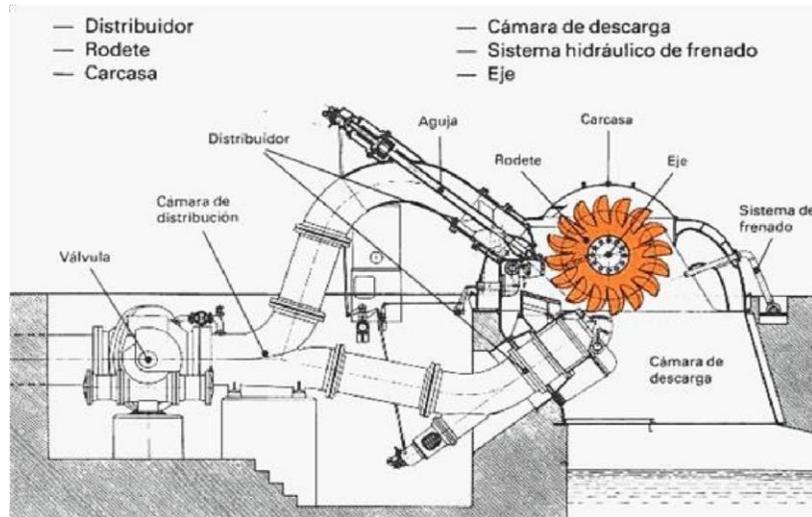


Figura 6. Componentes de una turbina Pelton. Tomado de Agapito, L. A.; Gallardo, O.; Luna, I. & Zárate, C. (2012).

- Distribuidor. Este es el sistema de suministro del agua, donde el agua es expulsada a gran presión y esta fuerza impacta directamente contra las cucharas o cangilones del rodete.
- Rodete. Este elemento está acoplado al eje, de tal forma que con el impacto del agua gire y a su vez haga girar al generador, el cual está acoplado al eje.
- Carcasa. Esta es la parte que cubre al rodete, su función es contener el agua que expulsan las cucharas o cangilones una vez que se ha utilizado y llevarla a la cámara de descarga.
- Cámara de descarga. Esta es la última etapa por la que pasa el agua para que esta sea drenada al cauce natural del río.
- Sistema hidráulico de frenado. Con este sistema es posible detener el giro del rodete, ya que una vez que está girando este continúa con la inercia aun después de que se deje de suministrar agua con los distribuidores.
- Eje. Este es el principal elemento de transmisión de la energía del giro del rodete; ya que está directamente conectado con el generador eléctrico.



3.1.3. Funcionamiento de un generador hidráulico

En las máquinas hidráulicas, y en particular en las turbinas de reacción, parte de la energía del agua que pasa a través de la carcasa y de los alabes se convierte en energía cinética, a estos elementos se les denomina **distribuidor** y se encuentra antes del rodete; este elemento es el principal dispositivo de suministro del agua a presión hacia las aspas acopladas al generador. El agua almacenada en la presa es dirigida por tuberías que pasan por las paredes de la cortina, esta agua lleva una gran presión y esta se sumista a chorro por el ya mencionado distribuidor directamente a los cangilones o cucharas (alabes) para que este se mueva a gran velocidad, alcanzando en la entrada 1.5 m/s.

Las turbinas hidráulicas de acción y reacción son muy diferentes entre ellas, por ejemplo, en la turbina de acción la energía del agua se transforma en energía cinética en el chiflón, en cambio las turbinas de reacción necesitan de una corona directriz o distribuidor.

Al aplicar la ecuación de Bernoulli, queda demostrado que es posible que se produzca un vacío que incrementa la carga de la turbina; este vacío puede ser causante de la formación de burbujas de aire, las cuales llegan a erosionar los alabes o componentes de la turbina, al grado de destruirlos debido a que se conjunta con la presión del agua, de aquí la importancia de una buena selección de las máquinas hidráulicas de acuerdo al tipo de caída de agua con la que se cuente para la producción de electricidad.

En la turbina de reacción, la energía cinética del agua pasa con gran velocidad cuando está ya paso por el rodete e ingresa por la tubería de salida, al salir esta es encausada de

nuevo al río, pasando por la cámara de descarga, disminuyendo su fuerza

Las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grupos según su grado de reacción: turbinas de acción y turbinas de reacción.

Si el grado de reacción es cero, la turbina se llama de acción. Si el grado de reacción es distinto de cero, la turbina se llama de reacción.

Las turbinas de acción son de admisión parcial y la presión del agua no varía en los álabes, es decir el rodete trabaja a presión constante, además el rodete no está inundado, se encuentra a la presión atmosférica.



La turbina de reacción es de admisión total, la presión a la entrada del rodete es superior a la atmosférica y la salida de la tubería se encuentra aguas abajo.

3.1.4. Tipos de generadores hidráulicos

El generador síncrono o alternadores son máquinas sincrónicas que se usan para convertir la energía mecánica en energía eléctrica de corriente alterna, el generador síncrono consiste en un electroimán girando, llamado rotor cilíndrico, generalmente al lado de una bobina, estator conectado en estrella, el cual por efecto de la rotación del rotor va a inducir tensión trifásica en el estator; para eso es necesario que haya una velocidad relativa entre el rotor y el estator.

La forma de la conexión de las bobinas del generador en estrella se efectúa por dos razones:

1. Se obtiene una mayor tensión de línea con menor esfuerzo, además es posible instalar conductores con menor diámetro.
2. Este tipo de conexión anula los efectos de armónicas, en particular la tercera armónica, reduciendo las pérdidas por calentamiento, haciendo al generador más eficiente.

En relación con lo antes dicho, en un generador síncrono el rotor se comporta como un electroimán.

Los generadores síncronos se clasifican conforme a la ubicación del campo magnético:

- A. Campo en el estator: la resistencia variable permite que el campo magnético sea variable.
- B. Campo en el rotor: con este campo se tiene una mayor eficiencia, debido a que se requiere menos energía y hace lo mismo que el campo en el estator.

Los generadores síncronos se clasifican conforme a su forma:

- A. Polos salientes: en estos es posible apreciar protuberancias, el polo magnético sale de la carcasa del generador
- B. Polos cilíndricos: el entrehierro es constante, como resultado se tiene que el flujo es independiente de la posición del entrehierro.



La eficiencia de un generador pequeño es baja, por ejemplo, un generador de 1kW puede lograr una eficiencia del 50% o hasta un 60%, si se compara con una de 10kW este puede alcanzar una eficiencia del 90%, y si se compara contra uno de 1,000 MW puede llegar al 99% de eficiencia.

3.2. Control de potencia hidráulica

En todos los procesos es necesario controlar variables y mantenerlas constantes, en los sistemas de potencia hidráulica es necesario controlar los grandes volúmenes de agua y por consiguiente su potencial, las variables a controlar o mantener son la presión, caudal, nivel, temperatura, velocidad y vibración, el control es posible gracias a instrumentos de medición y control, así mismo son útiles cuando es necesario dar mantenimiento al sistema; algunos de los instrumentos son: transductor de caudal, reguladores de velocidad, sensores de vibración, sensores de presión y válvulas.

Además de los instrumentos y dispositivos de control de la potencia, es primordial tener control sobre el agua que proviene de la cámara de suministro y que a su vez es recibido por el distribuidor y la canaliza hacia el rodete, toda esta potencia hidráulica es controlada por las paletas directoras o la misma turbina. Gran cantidad de partes del sistema hidráulico pueden ser controladas con servomotores, los cuales se colocan en las válvulas y se son controladas de acuerdo con la potencia o flujo requerido.

3.2.1. Sistema de control hidráulico

El sistema de control hidráulico es posible gracias a las válvulas, estas limitan o impiden paso de agua hacia la cámara de distribución. El control hidráulico se centra en detener el paso del agua si las condiciones de ésta no son las adecuadas para utilizarse en la turbina; otra condición en la que es necesario impedir el paso del agua es para el mantenimiento o reparaciones de la turbina y en los paros de emergencia. Este tipo de válvulas son de accionamiento automático, principalmente en las grandes centrales hidroeléctricas; en las mini-hidráulicas se instalan de accionamiento manual, así como en la micro hidráulica.

En subtemas siguientes se trata el tema sobre las válvulas con más detalles, así como sus distintas características para cada aplicación.



3.2.2. Diagrama de presiones y fuerza ejercida del agua a su paso entre los álabes

En este apartado es importante mencionar que es indispensable seleccionar la turbina adecuada conforme a las características del potencial hidráulico.

Los diagramas de presiones y fuerza se desarrollan en función de la energía potencial del agua del sitio en que se pretende instalar una turbina, de tal forma que es necesario saber la altura de la caída de agua, así se conocerá la velocidad específica máxima permisible, misma que es posible utilizar y convertir en energía cinética en el paso del agua entre los álabes; el valor de dicha altura se obtiene del diagrama que se traza con base en los resultados de estudios con turbinas reales, esto permite predecir la velocidad de salida a través de los álabes; aplicando lo anterior, el principio de la turbina Pelton es convertir la energía cinética del chorro de agua en velocidad de rotación del rotor.

Los diagramas de presiones son una herramienta de gran utilidad, ya que representan de forma gráfica las distintas presiones y fuerzas ejercidas del agua al pasar por los distintos tipos de álabes de las turbinas y su correcta implementación. Para comprender mejor lo anterior, cada turbina está diseñada para el aprovechamiento del potencial del agua; es decir, al conocer esta característica es factible determinar el tipo de turbina a utilizar.

A continuación, se muestra una imagen de la presión y fuerza ejercida sobre los álabes de una turbina Pelton.

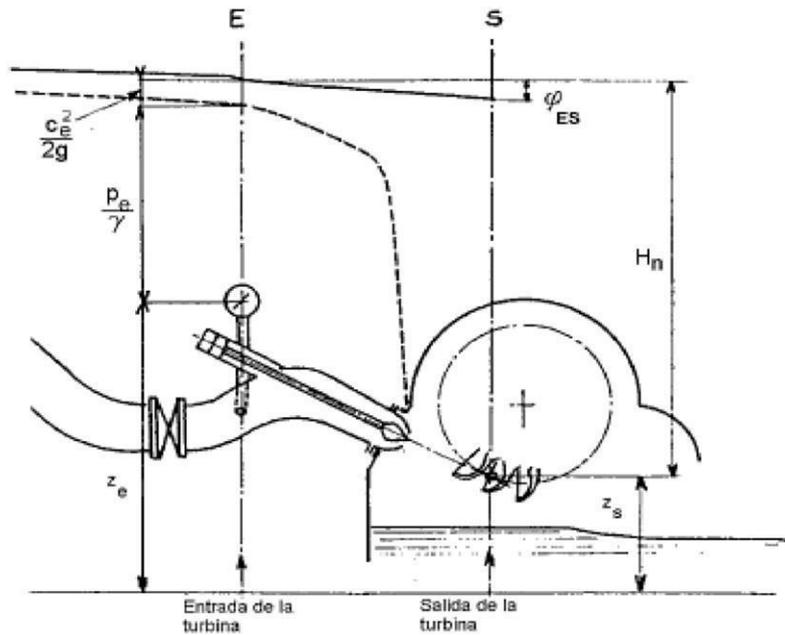


Figura 7. Diagrama presiones y fuerza ejercida del agua al paso por los álabes. Tomado de Turbinas Pelton, laboratorio de máquinas hidráulicas. (LA.M.HI.) Sep. 2004.

3.2.3. Rendimiento hidráulico, volumétrico, orgánico y global

En relación al rendimiento hidráulico, las plantas hidroeléctricas tienen como característica principal el estar a expensas de un factor de utilización del recurso hidráulico, los constructores de centrales hidroeléctricas deben considerar una gran cantidad de pruebas e investigación de varios aspectos para el cálculo volumétrico en los cuales se incluyen el rendimiento global de estos grandes sistemas.

Un elemento que requiere especial atención es el rodete, en los que se deben aplicar los conocimientos hidrodinámicos ya que el rodete está sometido a grandes y constantes esfuerzos hidrodinámicos permanentes y estacionarios. Otro elemento crítico son las partes giratorias de la línea del eje, como por ejemplo las chumaceras, donde lo más crítico es que no es permissible que se generen perturbaciones ya que si se llegaran a generar el sistema correría peligro, llegando hasta la destrucción de este.



3.2.4. Turbinas Pelton, Francis, Kaplan y Bulbo

Las turbinas son parte esencial en las máquinas hidráulicas, las turbinas rápidas son indicadas en donde se tienen pequeñas caídas de agua, permitiendo que se utilice una gran cantidad de agua y alcanzado potencias elevadas, con velocidades bajas de giro, ejemplo de estas son las Francis y Kaplan; alcanzando velocidades máximas de 1200 rpm.

Para una aplicación en donde el flujo es casi axial la Kaplan es más rápida en comparación con la Francis; en relación con esto, se tiene que en los flujos de forma radial es recomendable implementar las de tipo lento.

Turbinas Pelton

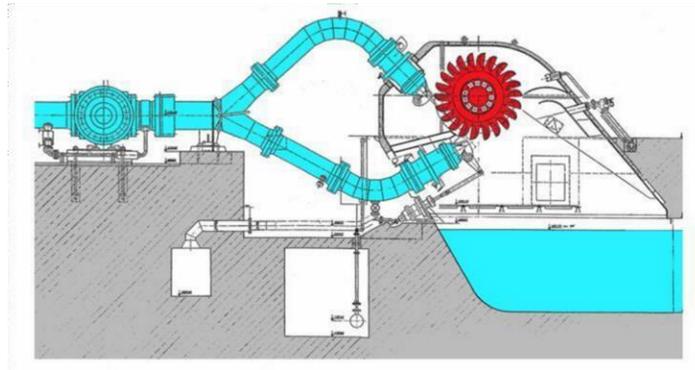


Figura 8. Diagrama de turbina Pelton.

Una turbina Pelton es uno de los tipos más eficientes de turbina hidráulica. Es una turbomáquina motora, de flujo radial, admisión parcial y de acción. Consiste en un rodete dotada de cucharas en su periferia, las cuales están especialmente realizadas para convertir la energía de un chorro de agua que incide sobre las cucharas.

Estas turbinas están diseñadas para explotar grandes saltos hidráulicos de bajo caudal. Las centrales hidroeléctricas dotadas de este tipo de turbina cuentan, en su mayoría, con una larga tubería llamada galería de presión para transportar al fluido desde grandes alturas, a veces de hasta 1500 metros. Al final de la galería o tubería de presión se suministra el agua a la turbina por medio de una o varias válvulas de aguja, también llamadas inyectoras, los cuales tienen forma de tobera para aumentar la velocidad del flujo (energía cinética) que incide sobre las cucharas.

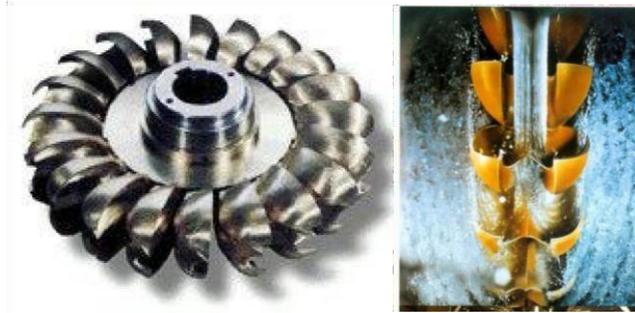


Figura 9. Rodete y cucharas de turbina Pelton

La tobera o inyector lanza directamente el chorro de agua contra la serie de paletas en forma de cuchara, el doble de la distancia entre el eje de la rueda y el centro del chorro de agua se denomina diámetro Pelton. El agua al impactar con las cucharas intercambia energía con la rueda en virtud de su cambio de cantidad de movimiento. Observando en la siguiente figura un corte de una pala en el diámetro Pelton, donde el agua impacta a la mitad y es dividido en dos, los cuales salen de la pala en sentido casi opuesto al que entraron, pero jamás puede salir el chorro de agua en dirección de 180° ya que se fuese así el chorro golpearía a la pala sucesiva y habría un efecto de frenado.

Para evitar cambios bruscos de caudal, que podrían ocasionar golpes de ariete en la tubería forzada, cada inyector dispone de un deflector que cubre parcialmente el chorro durante los cambios de caudal y permite realizarlos más lentamente.

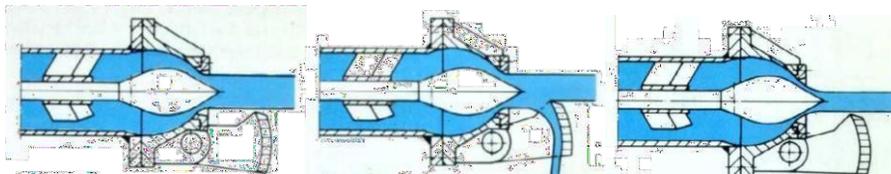


Figura 10. Funcionamiento del deflector.

Una turbina Pelton puede tener entre 1 y 6 inyectores. Cuando tiene 1 o 2 inyectores, el eje del rodete es normalmente horizontal. Cuando el número de inyectores es mayor de 2 hasta 6, el eje del rodete es normalmente vertical.

Algunas generalidades:

- La eficiencia máxima se encuentra entre el 90 al 93%, dependiendo del tipo, tamaño y salto.
- La turbina Pelton con múltiples inyectores tiene un menor diámetro de rodete y una mejor eficiencia con bajas potencias.



Turbinas Francis

La turbina Francis es una turbomáquina motora a reacción y de flujo mixto. Es una turbina hidráulica que se puede diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van desde unos 20 metros hasta poco más de 200 metros.

Estas turbinas son conocidas como turbinas de sobrepresión por ser variable la presión en las zonas del rodete, o de admisión total ya que este se encuentra sometido a la influencia directa del agua en toda su periferia.

El campo de aplicación es muy extenso, dado el avance tecnológico conseguido en la construcción de este tipo de turbinas. Pueden emplearse en saltos de distintas alturas dentro de una amplia gama de caudales (entre 2 y 200 m³/s).

La clasificación es en función de la velocidad específica del rodete, cuyo número de revoluciones por minuto depende de las características del salto:

- Turbina Francis lenta: para saltos de gran altura (alrededor de 200 m o más).
- Turbina Francis normal: indicada en saltos de altura media (entre 200 y 20 m).
- Turbinas Francis rápidas y extrarrápidas: para saltos pequeños (inferiores a 20 m).

Principales partes de la turbina Francis:

Cámara espiral: tiene como función distribuir uniformemente el fluido en la entrada del rodete de una turbina.

- Predistribuidor: tienen una función netamente estructural, para mantener la estructura de la caja espiral, tiene una forma hidrodinámica para minimizar las pérdidas hidráulicas.
- Distribuidor o corona directriz: son los álabes directores de la turbomáquina, su función es regular el caudal que entra en la turbina, a la vez de direccionar al fluido para mejorar el rendimiento de la máquina.
- Rotor: es el corazón de la turbina, ya que aquí tiene lugar el intercambio de energía entre la máquina y el fluido, pueden tener diversas formas dependiendo del número de giros específico para el cual está diseñada la máquina.



- Tubo de aspiración: Es la salida de la turbina. Su función es darle continuidad al flujo y recuperar el salto perdido en las instalaciones que está por encima del nivel de agua a la salida. En general se construyen en forma de difusor, para generar un efecto de aspiración, el cual recupera parte de la energía que no fuera entregada al rotor en su ausencia.

Ventajas:

- Su diseño hidrodinámico permite bajas pérdidas hidráulicas, por lo cual se garantiza un alto rendimiento.
- Su diseño es robusto, de tal modo se obtienen décadas de uso bajo un costo de mantenimiento menor con respecto a otras turbinas.
- Junto a sus pequeñas dimensiones, con lo cual la turbina puede ser instalada en espacios con limitaciones físicas y además de que permiten altas velocidades de giro.

Desventajas:

- No es recomendado para una altura mayor de 800 m, por las presiones existentes en los sellos de la turbina.
- Hay que controlar el comportamiento de la cavitación.
- No es la mejor opción para utilizar frente a grandes variaciones de caudal, por lo que se debe tratar de mantener un flujo de caudal constante.

Las turbinas Francis, son de rendimiento óptimo, pero solamente entre unos determinados márgenes (para 60% y 10% del caudal máximo), siendo una de las razones por las que se disponen varias unidades en cada central, con el objetivo de que ninguna trabaje individualmente por debajo de los valores del 60% de la carga total.

Al igual que las turbinas Pelton, las turbinas Francis pueden ser instaladas con el eje en posición horizontal o vertical siendo esta última disposición la más generalizada por estar ampliamente experimentada, especialmente en unidades de gran potencia.

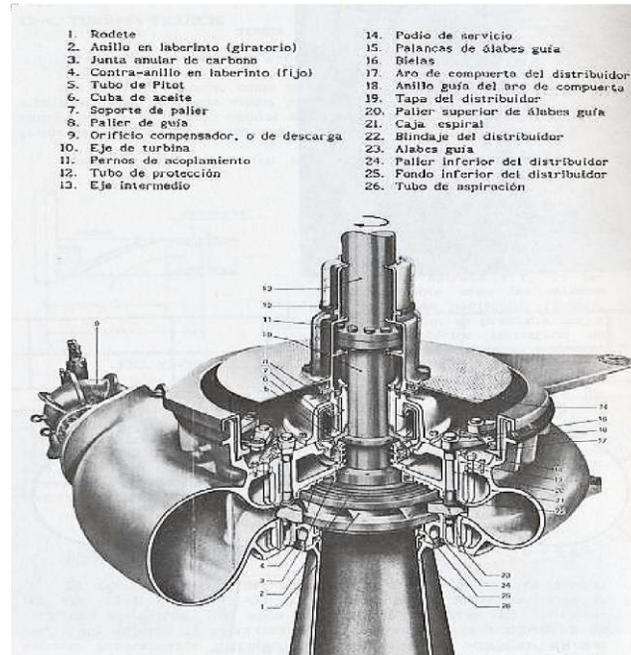


Figura 11. Turbina Francis. Tomado de Soriano, J. (2008).

Turbina Kaplan

Turbina de flujo axial, de reacción y de admisión total, su principal característica es que cuenta con n rodete que contiene álabes regulables, su función es controlar la componente tangencial de la velocidad a la entrada del rodete, en consecuencia, el fluido sale de los álabes directores (distribuidor o corona directriz) y entra en la rueda con un momento angular adquirido.

A medida que el fluido discurre a través del rodete, su momento angular se reduce e imparte un momento de torsión a la rueda, que a su vez impulsa el eje para producir energía.

Gracias a sus álabes orientables tanto en el rodete como en el distribuidor, se puede operar con muy buena eficiencia dentro de un rango amplio de caudales debido a su doble regulación.

Se usan este tipo de turbinas en plantas de presión baja e intermedia, con alturas de caída de 7 a 60 m y caudales de 0.7 a 1,000 m^3/s .

En estas turbinas su flujo es completamente axial y son de reacción, esta turbina es de hélice con álabes móviles, esta es empleada en grandes caudales, tiene cuatro características que permiten su utilización:



1. Velocidad elevada.
2. Rendimiento alto con cargas variables.
3. Dimensiones reducidas.
4. Notable capacidad en sobrecargas.

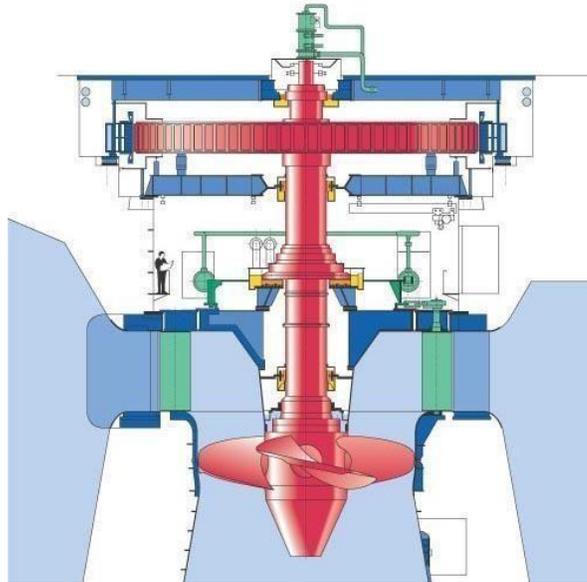


Figura 12. Turbina Kaplan.

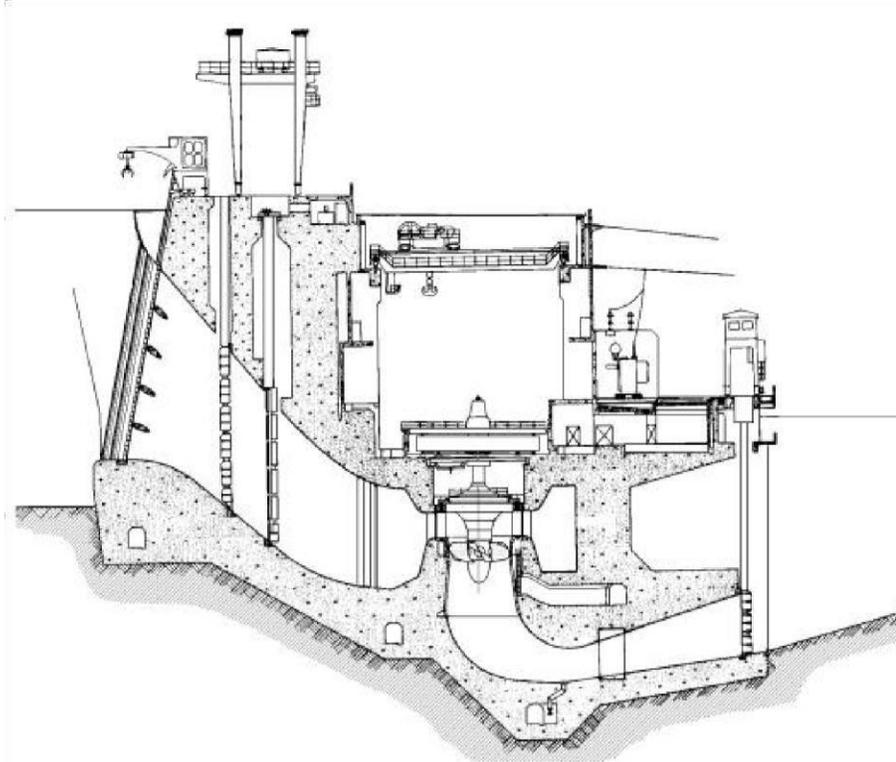


Figura 13. Sección transversal de una central hidráulica con turbina Kaplan.

Turbinas bulbo

Pertenece a la máquina de reacción, de flujo axial, y se deriva de la turbina Kaplan. Son aptas para aprovechar saltos de muy poca altura y de gran caudal. Se caracterizan por tener los componentes principales de la turbina y del generador en el interior de un bulbo. Estas turbinas son de hélice con eje horizontal. En las turbinas bulbo las alabes pueden ser fijas o móviles, estas se construyeron con la experiencia que se tiene de las Kaplan, la diferencia son sus dimensiones y cargas bajas, su aplicación está posicionada en caídas muy bajas de hasta 16 m. Estas turbinas se pueden utilizar en lugares donde se tiene una diferencia entre mareas altas y mareas bajas, por ejemplo: en Francia en donde se tiene instalada cerca del canal de la Mancha, en este canal se tienen diferencias de más de 10 metros.

En México, se tienen este tipo de condiciones en el Golfo de Baja California a niveles de 6 metros, otro ejemplo es la planta mareomotriz de La Rance, en Francia.

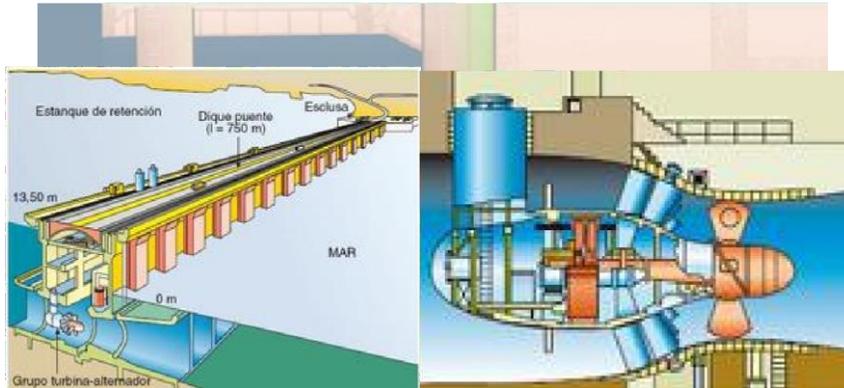


Figura 15. Utilización de la turbina tipo bulbo.

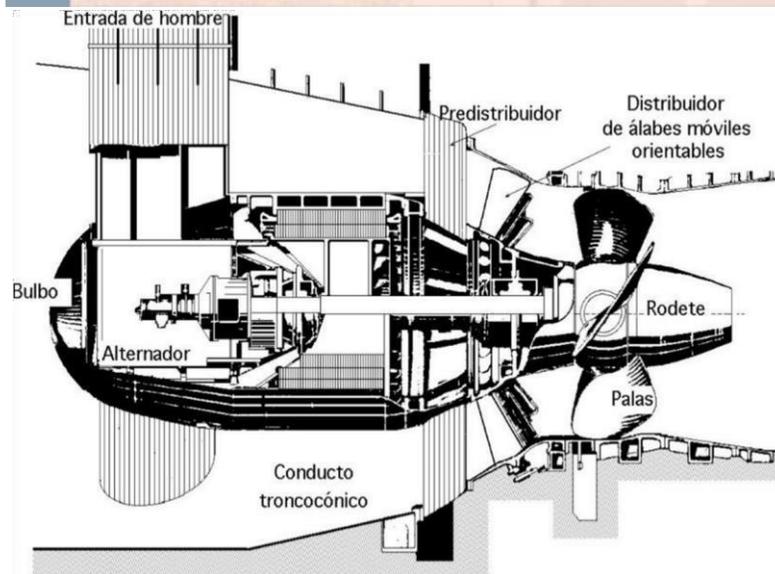


Figura 14. Turbina tipo bulbo.

3.2.5. Válvulas de alivio o de reducción de presión y descarga de bombas

Las válvulas de alivio o reducción de presión son dispositivos mecánicos de control de flujo y su función es permitir o interrumpir el paso del agua, así como modular o aislar el agua u otros líquidos dentro de la turbina.

En los sistemas de turbinas hidráulicas se instalan diversas válvulas:

- Válvulas de mariposa: estas válvulas son de cuarto de vuelta y controlan el flujo por medio de un disco circular, el eje se encuentra en ángulo recto



respecto a la dirección del flujo; esta válvula se emplea para regular el salto de agua.

- Válvula de flotador: las válvulas de flotador de acción directa tienen una boya o flotador que acciona el cierre de la válvula. En las válvulas de acción directa, la fuerza ejercida sobre el flotador se transmite mediante un brazo al pistón para accionar el cierre. En las válvulas pilotadas con controles externos, el cierre se produce esencialmente por las fuerzas hidráulicas.

En las turbinas hidráulicas es indispensable el control por medio de válvulas, al igual, existen instalaciones en donde es necesario aliviar la presión que se genera en el sistema por medio de la descarga de la bomba, ésta puede ser durante cierta parte del ciclo y por lo general se lleva a cabo mediante la apertura de una válvula de alivio que se acciona mediante un sistema piloto al aplicar una presión a una válvula By-pass; por lo tanto la descarga de la bomba no es otra cosa que un sistema de bombeo para vaciar las turbinas o controlar la cantidad de agua que se concentra en la carcasa de la turbina y evitar que esta pudiese sufrir daños severos.

3.3. Almacenamiento del agua

El almacenamiento del agua es parte importante para que una central hidroeléctrica sea eficiente y capaz de producir energía eléctrica. El almacenamiento de agua consiste en formar una represa, la cual es de gran utilidad para la reutilización del agua de descarga, es decir, la que es expulsada de la turbina y sale por la cámara de descarga. Las centrales hidroeléctricas que operan con almacenamiento de agua deben cubrir ciertos requisitos.

La formación de los embalses, a parte del almacenamiento del agua, son de gran beneficio para mitigar el impacto ambiental que se produce al momento de construir una central hidroeléctrica, esta contribución consta de la producción de un microclima en la zona, es decir, modifica el clima, temperatura, humedad, lluvias y viento.

El volumen de agua del embalse forma y ejerce una fuerza refrigerante en temporadas de calor y en temporada de frío un microclima de los lugares aledaños.

Los embalses de almacenamiento del agua llegan a retener hasta 25 millones de m³ con un área de hasta 70 km², en las mini-hidroeléctricas estos almacenamientos de agua no son requeridos debido a que el cauce del río se canaliza directamente a la turbina.



Las bombas de descarga son el elemento que extrae el agua de la cámara de distribución, cuando la turbina está en la etapa de mantenimiento es fundamental que la cámara se encuentre descargada y realizar los trabajos de forma adecuada y segura.

3.3.1. Selección de la bomba de acuerdo con el análisis sobre el caudal y de la altura

Las centrales hidroeléctricas de acumulación de bombeo se han detonado debido a que el consumo de energía ha incrementado, y los energéticos se han vuelto muy costosos, lo que propició que se desarrollarán nuevas e ingeniosas maneras de aprovechar los recursos que se tienen; uno de esos recursos es el método de acumulación de agua por bombeo, siendo este un método rápido y en cierta forma más económico que las típicas centrales hidroeléctricas.

La selección del sistema de bombeo consiste esencialmente en contener el agua en dos embalses a desnivel en un río arriba y el otro río abajo. En el momento en que se incrementa la demanda el embalse de río arriba aporta su descarga accionando la turbina, en cuanto se llegan las horas de demanda muy baja entre 1 y 6 de la mañana, se bombea el agua del embalse inferior al de aguas arriba; este sistema tiene una pérdida integral del 25% que al hacer la función de cubrir las horas pico en las que le consumos se incrementa resulta muy redituables. Este tipo de plantas se iniciaron en Alemania Occidental, Estados Unidos y Luxemburgo.

Hoy en día se han construido en casi en todas partes del mundo, principalmente en países industrializados, como España, Japón, Suecia y Suiza.

De lo anterior se debe considerar que, para la selección de la bomba, se deben analizar dos aspectos: el caudal y la altura. Asimismo, se deben considerar los tres diferentes arreglos, en los cuales se implementan estas máquinas, estos son: turbo bomba reversibles; turbina y bomba con motogenerador común; y turbina con generador y bomba con motor separado. Como en cualquier selección de equipos para sistemas de hidroeléctricos, se debe considerar el costo, la eficiencia, el rango de cargas, la manera de operación del sistema y su tipo arranque, de tal forma que la selección de la bomba sea técnica y económicamente viable.

A continuación, se describen los tres tipos de arreglos mencionados en el párrafo anterior:



1. Turbobomba reversible.
2. Turbina y bomba con motogenerador común.
3. Turbina con generador y bomba con motor separado.

Arreglo 1. Es un sistema desarrollado en los años 50, es la de mayor implementación para grandes volúmenes de agua.

Arreglo 2. La turbina, la bomba y el motogenerador están conectados por la misma flecha, si se compara esta con el arreglo 3 se tiene un mejor ahorro con el 2, debido a que utiliza una máquina eléctrica común, el arreglo 2 es especial para cargas de 600 a 1400 metros.

Arreglo 3. La bomba y la turbina están colocadas por separado de la casa de máquinas y solo tienen en común las tuberías.

Un ejemplo de estos sistemas es el que está situado en el lago Michigan, este hace la función de embalse de almacenamiento inferior y un gigantesco lago artificial, que está situado montañas arriba, que hace la función de embalse superior.

3.3.2. Curva de altura-caudal, curva caudal-potencia y curva de eficiencia

La curva de caudales clasificados permite seleccionar el caudal de diseño más eficiente y el caudal mínimo técnico de una de las turbinas que se debe utilizar, así como evaluar la potencia de la planta y la producción anual esperada en un año hidráulico medio.

Por regla, se considera como caudal de diseño el valor del caudal medio, una vez conocido el salto neto, se situará el punto de confluencia del caudal de diseño sobre un gráfico de envolventes operacionales de turbinas.

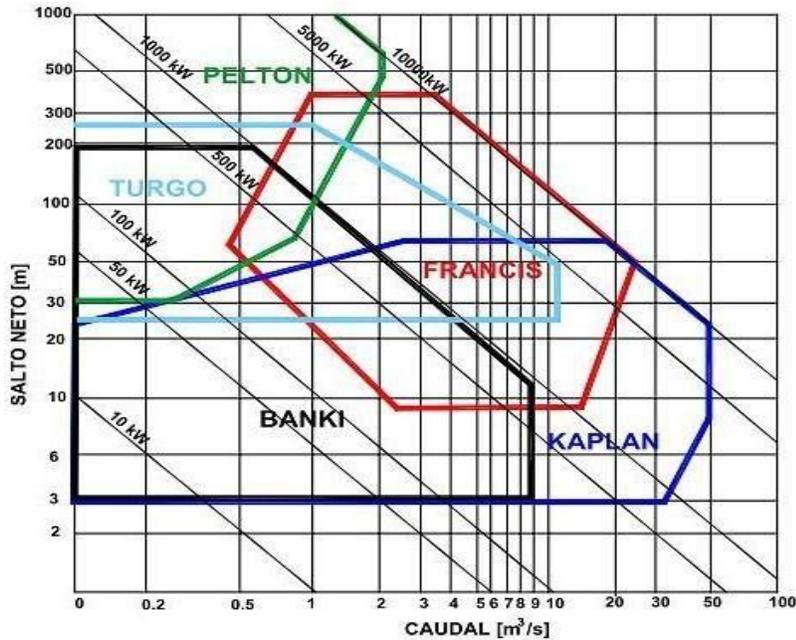


Figura 16. Altura-Caudal, en turbinas Francis, Kaplan, Pelton, Turgo y Banki. Tomado de Marchegiani, A. (2004).

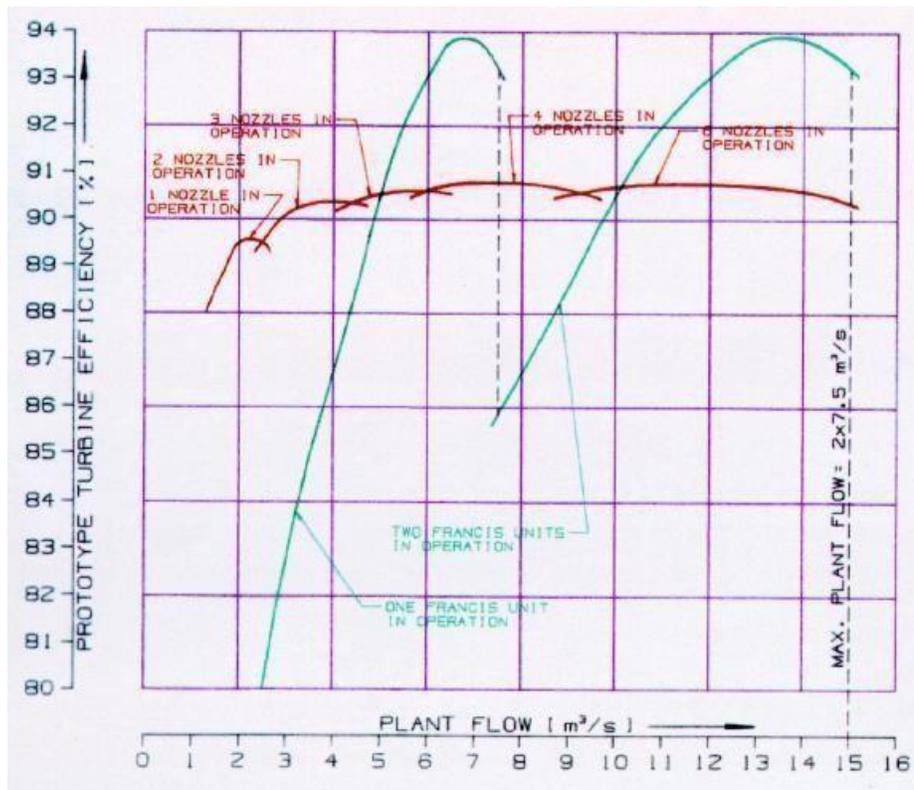


Figura 17. Comparativa del comportamiento de la turbina Pelton y Francis.



3.3.3. Succión positiva y succión negativa

Cuando se seleccionan bombas en centrales hidroeléctricas, hay necesidad de tomar en consideración la cabeza neta de succión positiva, este es un parámetro de suma importancia en el funcionamiento de una bomba y se relaciona con la presión del fluido a la entrada de la bomba e influye en el fenómeno de cavitación, el cual es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua u otro fluido pasa por una zona de baja presión, lo cual puede hacer que alcance la presión de vapor del líquido, formándose cavidades. Las burbujas o cavidades viajan a zonas de mayor presión e implosionan ocasionando ondas de presión que viajan en el líquido a velocidades próximas a las del sonido y pueden impactar contra la superficie de los álabes, carcasa y rotor, causando daños.



Figura 18. Daños por la cavitación en una turbina Francis, Bomba centrífuga y turbina Kaplan.

3.4. Operación de generadores hidráulicos de electricidad

Las variables eléctricas para controlar se centran en la optimización de la energía generada y se hace desde un cuarto de control a distancia en el que se tiene un monitoreo y control total.

Los parámetros que se controlan y monitorean son: potencia activa (MW) al regulador de la turbina, potencia reactiva (MVAR) al regulador de tensión y control de voltaje. Otros controles necesarios son realizados de manera local en los dispositivos primarios como, válvulas, motores, interruptores, entre otros. Este control solo se utilizará durante el mantenimiento y emergencias.

En la operación de generadores en una central hidroeléctrica, es necesario un equipamiento eléctrico, para la transformación de tensión, medición de los diferentes parámetros de la corriente eléctrica en la central, la conexión a la línea de salida y la distribución de la energía.



El elemento fundamental lo constituye el transformador de tensión, el objetivo de esta máquina es elevar la tensión al nivel de la línea existente para hacer posible un transporte sin pérdidas excesivas.

Los equipos eléctricos necesarios son:

- Disyuntores y seccionadores, utilizados para la conexión y desconexión de la red.
- Transformadores de medida, tanto de tensión como de intensidad.
- Transformadores de equipos auxiliares, que suministran la tensión adecuada para el buen funcionamiento de los equipos.
- Pararrayos o auto válvulas.
- Líneas eléctricas, necesarias para transportar la energía producida hasta los centros de consumo o hasta la red de distribución.

Los elementos de regulación control y protección, son aquellos mecanismos que regulan y controlan el funcionamiento de la central, así como dispositivos de protección, tanto de la central como de la línea, ante las posibles fallas que se puedan producir.

En cuanto al control del generador se logra con:

- Regulador de tensión para grupos síncronos.
- Equipo de sincronización, en el caso de que estén conectados a red eléctrica.
- Condensadores y relés, en el caso de grupos asíncronos conectados a la red eléctrica.

En cuanto a protecciones eléctricas del generador y transformador se tiene:

- Intensidad máxima.
- Retorno de potencia.
- Calentamiento del generador.
- Calentamiento del transformador.
- Derivación en el estator.
- Producción de gases en el transformador.
- Nivel de tensión.
- Nivel de frecuencia.



3.4.1. Instalación y operación de sistemas de energía eléctrica e hidráulica

Los tableros de control son un conjunto de elementos que permiten la operación, control y dan protección al sistema eléctrico. Se utilizan sistemas informáticos para manipular el control de voltaje, sistemas de excitación y reguladores de velocidad.

Lo anterior es posible gracias a software especializado que permite en tiempo real visualizar todas las variables que se requieren para el óptimo funcionamiento del sistema hidroeléctrico, estas son:

- Voltajes de control disponibles.
- Voltajes de servicios auxiliares.
- Turbina lista.
- Nivel de aceite de los cojinetes.
- Sistemas de frenos.
- Presión de sistema de lubricante de turbina.
- Regulador de velocidad.
- Válvula esférica.
- Regulador de voltaje.
- Enfriamiento.
- Posición de válvula mariposa.
- Sistema de inundación del drenaje.
- Interruptor de unidad.

3.4.2. Centrales hidroeléctricas

Microcentrales hidroeléctricas

A este tipo de centrales se les identifica por su potencia, que es inferior a los 100 kW. Estas se instalan principalmente en pequeños ríos que cuentan con una potencia de hasta 2000 kW. Como beneficios tenemos el suministro de energía eléctrica a pequeñas comunidades.

Por su tipo es conveniente su instalación en regiones aisladas de la red eléctrica, ya que pueden suministrar electricidad a pequeños usuarios, para ejemplificar, una microcentral de 100 kW de potencia logra suministrar energía eléctrica a una comunidad rural de 200 habitantes, otras aplicaciones posibles son el sector minero,



aserraderos, estaciones meteorológicas, entre otras aplicaciones que se encuentren fuera del alcance del sistema eléctrico convencional y que vienen a sustituir el uso de combustibles fósiles como diésel y gasolina.

Estas microcentrales cuentan principalmente con un cauce de agua o caída o con posibilidad de almacenamiento para un pequeño embalse. El factor de planta asociado depende principalmente de las condiciones hidrológicas del recurso y la eficiencia de conversión varía dependiendo del tipo de tecnología utilizada.

Por su principio de funcionamiento, las turbinas hidráulicas, se dividen en dos grandes segmentos: acción y reacción, la de acción utilizan la energía cinética del líquido y las de reacción recurren principalmente a la energía potencial.

En las de reacción intervienen:

- Turbinas axiales de alabes regulables llamadas Kaplan y de hélice
- Rodio-axiales llamadas Francis.

En las de acción intervienen:

- Turbinas de cucharas llamadas Pelton.
- Turbinas de chorros inclinados llamadas Tiurgo.
- Turbinas de chorros transversales llamadas Banki.

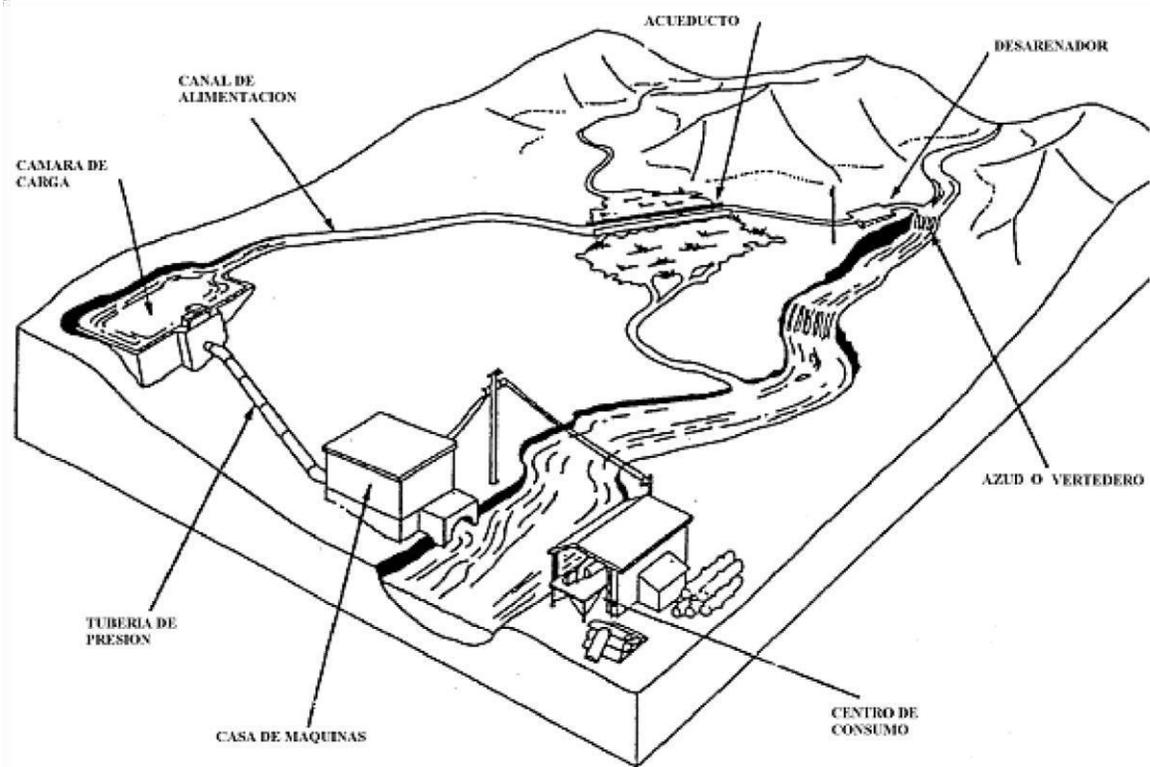


Figura 19. Componentes de una microcentral hidroeléctrica.

3.4.3. Software para modelar centrales hidroeléctricas

Para modelar sistemas hidroeléctricos, HOMER ayuda a ejecutar diferentes simulaciones de sistemas de energía, comparar los resultados y obtener una proyección realista del capital y de los gastos operativos. HOMER determina la rentabilidad económica de un sistema hidroeléctrico, optimiza el diseño del sistema y permite a los usuarios entender realmente cómo funcionan los sistemas renovables.

Como la generación distribuida y los proyectos de energías renovables siguen siendo el segmento de más rápido crecimiento de la industria energética, HOMER puede servir a los servicios públicos, telecomunicaciones, integradores de sistemas y muchos otros tipos de desarrolladores de proyectos, con el fin de mitigar el riesgo financiero de sus proyectos de energía renovable.



Cierre de la unidad

Gracias por estudiar esta unidad, en la cual se presentó la energía hidráulica para generación de electricidad, el control de la potencia hidráulica, el funcionamiento de los generadores, los tipos de turbinas y demás temas relacionados, con el fin de conocer el potencial hidroeléctrico disponible en México; se te invita a continuar documentándote en torno a la energía eólica y a la energía hidráulica; se espera que este seminario te haya resultado enriquecedor y que tus proyectos tengan éxito.



Para saber más



Para profundizar en lo referente a los sistemas de bombeo, se te invita a investigar sobre la central hidroeléctrica de Montamara.



Para consultar información relacionada con las centrales hidroeléctricas en el mundo y cuál es el lugar que ocupan según su potencial de generación de electricidad, se te invita a visitar:

<https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/datos-del-agua/centrales-hidroelectricas-mas-grandes-del-mundo/>



Finalmente, se te invita a leer con detenimiento el Programa Nacional Hídrico, en particular el capítulo 3 objetivo 5, en el cual se establece lo referente a los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico, tema de gran relevancia que impacta directamente en la implementación de centrales hidroeléctricas. Disponible en:

http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/PROGRAMA_Nacional_Hidrico_2014_2018_esp%C3%B1ol.pdf



Fuentes de consulta



1. Agapito, L. A.; Gallardo, O.; Luna, I. & Zárate, C. (2012). Disponible en:
<http://mecatronicaunifim.htmlplanet.com/Hidraulica/pelton.htm>
2. Enríquez, H., (2004). *El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos*. México D.F.: Limusa.
3. González, V. J. (2009). *Energías renovables*. Barcelona: Reverté.
4. Guru, B. (2003). *Máquinas eléctricas y transformadores*. México: Oxford University Press. Institute of Electrical and Electronics Engineers (2012). Protección de generadores sincrónicos, en *Libros y software para ingeniería*. Recuperado el 27 de junio de 2012, de:
<http://librosysoftwareparaingenieria.blogspot.mx/2012/03/protecciondegeneradores-sincronicos.html>
5. Marchegiani, A. (2004). *Turbinas Pelton*. Argentina: Universidad Nacional del Comahue.
6. Reyes Aguirre, M. *Curso de Máquinas Hidráulicas*. México: UNAM. Facultad de Ingeniería.
7. Soriano, J. (2008). *Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas*. Córdoba, España: UCO.



8. Textos Científicos (2006). *Centrales hidráulicas*. Disponible en:
<http://www.textoscientificos.com/energia/centrales-electricas/hidraulicas>
9. Viejo Z. (2010). *Energías eléctricas. Turbinas y plantas generadoras / Proyecto hidroeléctrico la Yesca* (4a. ed.). México: Limusa.