

Centrales Hidráulicas: Su constitución

1

El agua que corre sobre el cauce de los ríos, tiene una energía cinética que gasta venciendo los obstáculos que se oponen al libre curso, desarrolla calor, transporta materiales, erosiona las márgenes y el fondo de su lecho. Esta energía cinética depende de la velocidad del agua la que a su vez, es función de la pendiente y de la rugosidad del cauce. Es imposible eliminar la rugosidad pero puede disminuirse, y como consecuencia el mismo caudal de agua puede circular con menor pendiente que en el cauce primitivo. De forma que podría derivarse la corriente de agua por un canal lateral con menor rugosidad y menor pendiente que el cauce primitivo. Con esto la diferencia de nivel entre las aguas del canal y el cauce del río iría aumentando a medida que fuese mayor la longitud del canal. En un punto apropiado, podría pasar el agua del canal por medio de máquinas hidráulicas que transformarían la energía potencial del agua en energía mecánica en el eje de la turbina, como el generador está montado sobre el mismo eje, éste transforma la energía mecánica en energía eléctrica, devolviendo después el agua turbinada al río, de esta manera se consiguió un salto de agua, con "canal de derivación".

También se puede obtener un desnivel elevando el nivel del agua, por atajamiento de la corriente de agua mediante una presa o azud. En este caso, aguas arriba el obstáculo puesto a la corriente, aumenta la sección en contacto con el agua, disminuye la velocidad necesaria del agua para dejar pasar el caudal del río y la pendiente para obtener dicha velocidad es menor que la que tenía la corriente. Esta pendiente superficial va aumentando a medida que, aguas arriba resulte menor la sección de contacto con el agua de esta manera se forma la "curva de remanso", que se enlaza tangencialmente con las aguas en la parte del cauce no afectada por el remanso. Por consiguiente se forma un nuevo régimen para la corriente, que permite formar un "salto de agua"

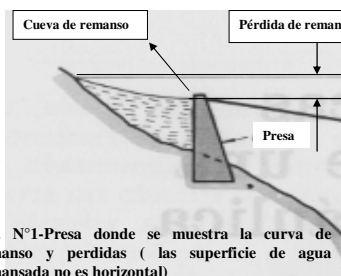


Fig. N°1-Presa donde se muestra la curva de remanso y pérdidas (las superficie de agua remansada no es horizontal)

Entre las dos soluciones citadas (canal de derivación y presa), caben soluciones mixtas que son las más empleadas; se ataja el río con una presa que embalsa el agua, las cuales se derivan junto a la presa con un canal, que se prolonga hasta un punto conveniente en el cual si sitúa la central, es decir las turbinas hidráulicas y los generadores correspondientes. El salto de agua se obtiene, en parte por la elevación del nivel de agua en la presa y en parte por la menor pendiente del canal con respecto al cauce.

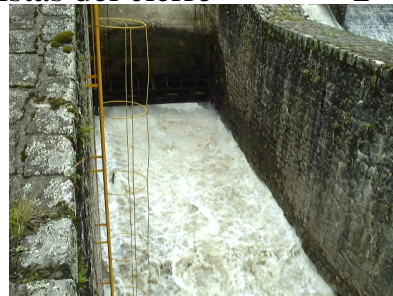
Sin duda un aprovechamiento de la energía hidráulica, no hubiera sido posible sin la turbina, ya que esta transforma la energía potencial del agua en energía mecánica y a través del generador en energía eléctrica.

Centrales Hidráulicas: Vistas del cierre

2



Asud de Toma Río Reales-C.H. P.Viejo-Tucumán



Derivación a Toma Río Reales C.H. P. Viejo-Tucumán



Toma Río La Horqueta - C.H. P. Viejo Tucumán



Presa C. H. Escaba - Tucumán

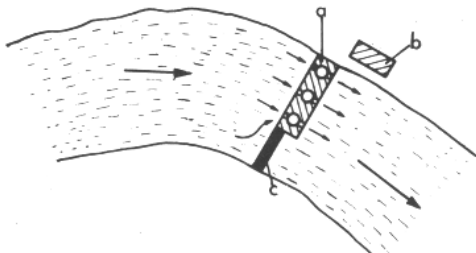


Fig. N°2- Representación esquemática de una central de agua corriente o pelo libre: a- central eléctrica, b- playa de distribución en alta tensión, c- presa.

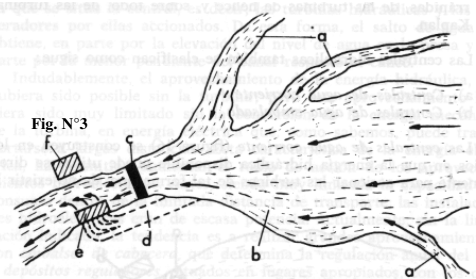


Fig. N°3- Representación esquemática de una central de embalse: a- aportes de agua, b- embalse, c- presa, d- túnel excavado en roca, para la conducción del agua hasta la central e- central eléctrica, f- playa de distribución en alta tensión

Las centrales hidráulicas se clasifican en:

- a) Centrales de pasada o pelo libre
- b) Centrales de presa

Centrales de pasada o pelo libre, Fig. N° 2: se construyen en los sitios en que la energía hidráulica disponible se puede usar directamente para accionar turbinas. Como sabemos el canal del río es variable en las diferentes estaciones del año además se debe contar con años de sequía y años de abundancia de agua. Para el diseño de estas centrales se debe analizar los caudales máximos y mínimos registrados en los últimos 50 años o más si se dispone de estos datos y elegir la solución más económica.

Centrales de embalse, Fig. N°3., Se consigue un embalse artificial en el cual se acumula el agua, que podemos aprovechar en la central. El embalse se consigue por medio de una presa situada en lugar especial (un lugar angosto y márgenes rocosos).

Disposición general de una central hidráulica.

Para la formación de un salto de agua, es preciso elevar el nivel superficial de éste sobre el nivel normal de la corriente, atajando el agua con una presa.

Para producir el salto total utilizable en la misma presa, o contribuir a este salto, se deriva a la vez las aguas por un "canal de derivación" de menor pendiente que el cauce del río.

Las aguas del canal de derivación hay que conducir las hasta las turbinas. En saltos menores de 12m, el agua desemboca directamente en la "cámara de la turbina" y para saltos superiores a 12m, termina en un ensanchamiento llamado "cámara de presión", de donde parte la "tubería de presión", que en conducción forzada lleva el agua a la turbina. A la salida de las turbinas, el agua pasa al "canal de desagüe", que desemboca en el río.

Disposición 1°- En la Fig. N°4, se indica una disposición completa:

- 1 - Presa.
- 2 - Canal de derivación.
- 3 - Cámara de presión.
- 4 - Tubería de presión.
- 5 - Central.
- 6 - Tubería de desagüe.
- 7 - Playa de distribución de alta tensión

Este tipo puede ser de pelo libre o de embalse.

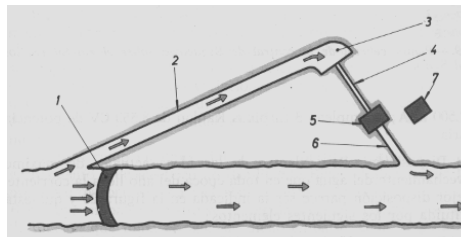


Fig. N°4- Central hidráulica

Disposición 2° Fig. N°5, esta construida para un máximo aprovechamiento del agua de la cuenca, y cuenta con los siguientes elementos:

- 1 - Presa para embalsar las aguas en épocas de abundancia y regular la corriente en el río.
- 2 - Galería de presión derivada directamente de la presa a nivel inferior al máximo admisible, permitiendo aprovechar todo el volumen de agua almacenada entre el nivel de la toma y el máximo del embalse.
- 3 - Chimenea de equilibrio.
- 4 - Tubería de presión.
- 5 - Central.
- 6 - Canal de desagüe.
- 7 - Playa de distribución de alta tensión.

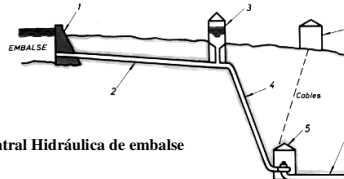


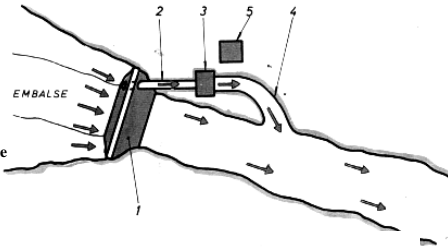
Fig. N°5 -Central Hidráulica de embalse

En esta disposición se sustituye la cámara de presión anteriormente citada, por la "chimenea de equilibrio", que sirve para amortiguar los "golpes de ariete", que se origina por la aceleración y desaceleración del agua en la tubería como consecuencia de la variación de carga subita de la turbina, además por proporcionar a dicha turbina en los primeros segundos la demanda de caudal, necesario hasta lograr el régimen normal.

Disposición 3° Fig. N°6. Salto sin canal de derivación, constituido de los siguientes elementos:

- 1 - Presa.
- 2 - Tubería de presión, que parte directamente de la presa.
- 3 - Central.
- 4 - Canal de desagüe.
- 5 - Playa de alta tensión.

Fig. N° 6- central hidráulica con tubería de presión y canal de desagüe



Disposición 4° Fig. N°7. Salto sin canal de desagüe, constituido de los siguientes elementos

1. Presa.
2. Canal de derivación.
3. Cámara de presión.
4. Tubería de presión.
5. Central
6. Playa de distribución de alt:

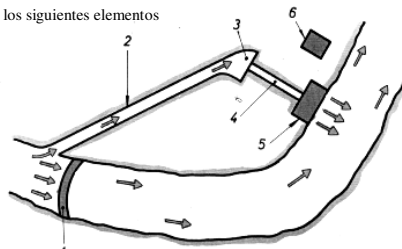


Fig. N°7- central hidráulica de canal de derivación, cámara de presión y tubería de presión

Disposición 5° Fig. N°8 Salto sin canal de derivación y sin canal de desagüe. En este caso la tubería forzada sale desde el pie de presa, consta de los siguientes elementos.

- 1- Presa.
- 2 - Tubería de presión.
- 3 - Central.
- 4 - Playa de distribución.

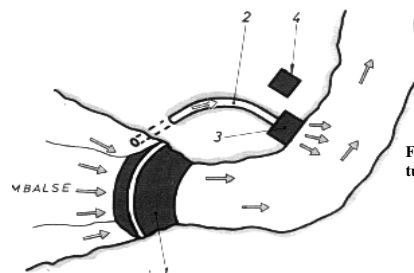
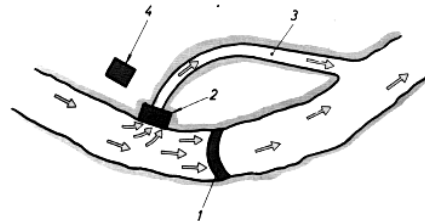


Fig. 8- central hidráulica con tubería de presión

Disposición 6° Fig. N°9 En esta disposición se suprime los canales de derivación y la tubería de presión, muy frecuente en salto de pequeña altura, determinado solo por una presa, cuenta con los siguientes elementos:

1. Presa.
2. Central.
3. Canal de desagüe
4. Playa de distribución

Fig.9- central hidráulica con canal de desagüe:



Centrales Hidráulicas: Aprovechamientos Múltiples 6

Aprovechamiento en un río de uno o varios escalones.

A lo largo del río que se trata de aprovechar, debe estudiarse si es preferible aprovechar su desnivel en una sola central hidroeléctrica o en varias centrales, dividiendo el tramo en otros de menor altura útil. Desde el punto de vista de la construcción e instalación de máquina, la solución económica es casi siempre la construcción de una central. Pero a veces por las características de la cuenca es posible aprovechamiento escalonados de gran potencia y generación. Lo que hace que en la evaluación del proyecto resulte más conveniente, por estas y otras razones (riego, control de creciente, sistematización de la cuenca, etc.)

Aprovechamiento simultaneo del río y sus afluentes.

El hecho de efectuar un aprovechamiento global del río y sus afluente hace más atractivo el proyecto desde el punto de vista que posibilita un mejor rendimiento del conjunto, en cada caso requiere un buen estudio de la cuenca y un análisis de **costo-beneficio** del aprovechamiento. Teniendo en cuenta que una presa hidráulica es una obra de efectos múltiples

(agua para bebida, agua para riego, turismo, deportes náuticos y la producción de energía eléctrica). El efecto económico que se estima producirán los distintos propósitos citados deberán amortizar el costo de las obras y producir una ganancia aceptable en este tipo de aprovechamiento. A continuación analizaremos algún ejemplo.

Ejemplo 1 - Río con afluente y saltos diferentes con una sola central Fig. N°10, cada río tiene su propia instalación de canales, cámaras de presión y tuberías forzadas. Las turbinas de la central corresponden a cada salto y por lo tanto tendrán distintas características técnicas (salto, caudal potencia, etc.)

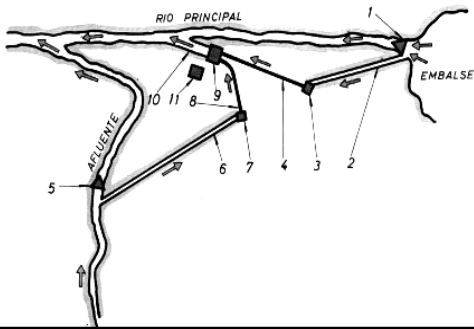


Fig. N°10- esquema del aprovechamiento hidroeléctrico de un río con un afluente y saltos diferentes con una sola central: 1- presa embalse río principal, 2- canal de derivación del río principal, 3- cámara de presión del río principal, 4- tubería forzada del río principal, 5- presa derivación sobre el afluente, 6- canal de derivación del afluente, 7- cámara de presión del afluente, 8- tubería forzada del afluente, 9- central, 10- canal de desagüe, 11- playa de distribución de alta tensión

Centrales Hidráulicas: Aprovechamientos múltiples 7

Ejemplo 2 - Río con afluente y salto único Fig. N°11, la presa esta situada en un lugar adecuado, para que los caudales de derivación terminen en una cámara de presión única y tengan también una tubería de presión común y una sola central.

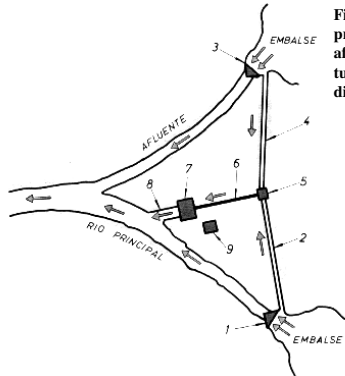


Fig. N°11-aprovechamiento hidráulico de un río con afluente y salto único: 1- presa, 2- canal derivación del río principal, 3- presa derivación sobre el afluente, 4- canal de derivación del afluente, 5- cámara de presión común, 6- tubería de presión común, 7- central, 8- canal de desagüe, 9- playa de distribución de alta tensión.

Ejemplo 3 Fig. N°12 - Ríos con dos o más afluentes y varias centrales, es uno de los casos que más se presentan. Las distintas centrales pueden construirse, según los ejemplos anteriores **Ejemplo 3**-Ríos con dos o más afluentes y varias centrales Fig.12, es uno de los casos que más se presentan. Las distintas centrales pueden construirse, según los ejemplos anteriores

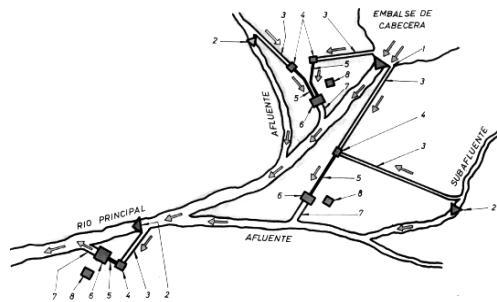


Fig. N°13- esquema del aprovechamiento hidroeléctrico de un río con varios afluentes y varias centrales: 1- presa embalse de cabecera del río principal, 2- presa en derivación sobre el río principal y los afluentes, 3- canales de derivación, 4- cámara de presión, 5- tubería de presión, 6- centrales de derivación, 7- canales de desagües, 8- playa de distribución de alta tensión.

Centrales Hidráulicas: Altura Aprovechable

8

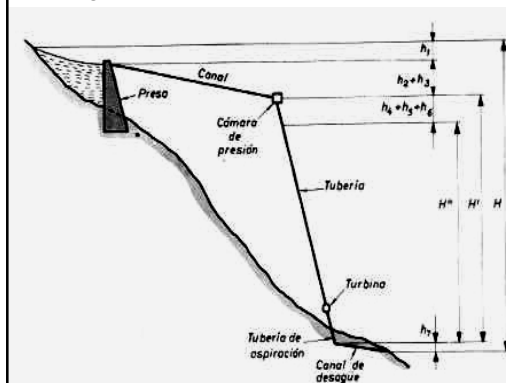
Características Generales de una Centrales Hidráulica.

Altura de salto aprovechable

En las centrales hidráulicas no se aprovecha toda la altura del salto, existen pérdidas de altura por distintas causas, que analizaremos, de lo que resulta que la altura disponible no corresponde a la altura total.

Llamaremos “salto total” (H) a la diferencia de las cotas máximas y mínimas del salto correspondiente (desde el sitio que se inicia el salto y al sitio donde se realiza el desagüe; “salto bruto o salto disponible”, (H') a la diferencia entre la cámara de presión y el final del tubo de aspiración; “salto neto”, (H'') es el realmente utilizando por las turbinas.

En la Fig. N°13, se puede analizar las pérdidas de altura que suceden en un salto. Antes todo se aclara que la superficie de las aguas remansadas por la presa no es horizontal, sino que forma una curva cuya pendiente disminuye a medida que nos acercamos a la presa. Desde la superficie del agua en contacto, a la superficie de agua en el enlace de la curva de remanso con la corriente primitiva, hay un desnivel, que se pierde en el total del salto, a este desnivel le llamaremos “pérdidas debida al remanso”, que indicaremos con h_1 .
Fig. N°14



Desde la presa, el agua entra en el canal de derivación y al pasar por todos los elementos constitutivos de éste, sufre pérdidas de nivel, según la pendiente, sección de contacto con el agua, rugosidad de las paredes, etc. Por lo tanto tendremos una “pérdida en el canal”, que llamaremos h_2 .

En la cámara de presión, (o en la chimenea de equilibrio), se dispone de rejilla para detener cuerpos flotantes e impedir la entrada en la tubería de presión, al entrar a la rejilla el agua sufre un rozamiento, que equivale a una pérdida de altura, que llamaremos “pérdidas en la cámara de presión”, que llamaremos h_3 .

Desde la cámara de presión, el agua entra en la tubería forzada y se producen pérdidas por rozamiento, cambio de sección, cambio de dirección, etc. si englobamos estas pérdidas en una que llamaremos “pérdidas en la tubería” y la representamos con h_4 .

Fig. N°14- Esquemática de la altura del salto aprovechable

Centrales Hidráulicas: Pérdidas de carga y salto neto

9

- Al final de la tubería de presión el agua entra en la turbina, que como cualquier máquina motriz, tiene un rendimiento inferior a la unidad, a causa de pérdidas de potencia a causa de rozamiento, mal aprovechamiento de la energía cinética del agua, etc. Todas estas pérdidas le llamaremos “pérdidas en la turbina”, representado por h_5 .
- También en el tubo de aspiración existen pérdidas por rozamiento y otras causas, lo que denominaremos pérdidas en “tubo de aspiración” y se representa por h_6 . Finalmente el canal de desagüe, por causas parecidas, hay una pérdida, que le llamaremos “pérdidas en el canal de desagüe”, representada por h_7 .
- Resumen de pérdidas**
- h_1 = Pérdida debido al remanso.
- h_2 = Pérdida en el canal de derivación.
- h_3 = Pérdida en la cámara de presión.
- h_4 = Pérdida en la tubería de presión.
- h_5 = Pérdida en la turbina.
- h_6 = Pérdida en el tubo de aspiración.
- h_7 = Pérdida en el canal de desagüe.
- Ahora llamaremos:
- H = altura de salto total.
- H' = altura de salto bruto.
- H'' = altura de salto neto.
- Cálculo de altura de salto bruto.**
- $H' = H - (h_1 + h_2 + h_3 + h_7) =$
- Por que consideramos que el salto bruto, como el que disponemos desde la cámara de presión hasta el tubo de aspiración.
- Altura de salto neto:**
- $H'' = H - (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7) =$ o bien en función del salto bruto:
- $H'' = H' - (h_4 + h_5 + h_6) =$

Centrales Hidráulicas: Cálculo de potencia

22

Características de Funcionamiento: Generalidades.

Las condiciones de funcionamiento de las turbinas hidráulicas difieren esencialmente de las correspondientes a los motores térmicos ya que en estos puede suponerse que se dispone siempre del agente motor (combustible, vapor, etc.) mientras que el funcionamiento de las turbinas hidráulicas varía con las forzosas oscilaciones del caudal disponible. Ciertamente es que con embalses adecuados puede conseguirse, en algunos casos, cierta regulación del caudal, diaria, mensual o anual, consiguiendo un caudal constante o un caudal proporcional a la carga instantánea; pero, en otras ocasiones, esto no es posible. Como, por otra parte, ha de intentarse conseguir el máximo aprovechamiento económico del agua disponible, es de gran interés conocer las relaciones entre caudal, altura de salto, potencia, velocidad y rendimiento, con objeto de conocer, en cada caso, cuál es el tipo más adecuado de turbina y, también el porqué de la elección de un tipo determinado de turbina para un aprovechamiento hidroeléctrico dado.

Potencia de las turbinas hidráulicas

Sabemos que la potencia teórica de un salto de agua está expresada por:

$$P_t = Q \times H / 75 = [CV]$$

Q = caudal en litros por segundo.

H = altura del salto en metros.

Muchas veces, el caudal se expresa en metros cúbicos por segundo; recordando que

$$1 \text{ m}^3 = 1.000 \text{ litros}$$

la fórmula anterior adoptará la forma:

$$P_t = 1.000 Q \times H / 75 = [CV]$$

Q = caudal en m³/seg.

Suponiendo que η_t es el rendimiento de la turbina, la potencia útil en el eje de la turbina vale:

$$P_t = 1.000 Q \times H \times \eta_t / 75 = [CV]:$$

y recordando que

$$1 \text{ kW} = 1,34 \text{ CV}$$

la fórmula anterior adoptará la forma

$$P_g = 1.000 Q \times H \times \eta_t / 75 \cdot 1,34 = [kW]$$

Si llamamos η_g al rendimiento del generador eléctrico, la potencia útil disponible en el generador será:

$$P = 9,8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_t \cdot \eta_g \text{ [kW]}$$

Centrales Hidráulicas: Potencia y rendimiento

23

Generalmente, se supone un rendimiento global

$$\eta = \eta_t \cdot \eta_g = 0,75$$

y, por lo tanto, la potencia útil aproximada disponible en el generador es

$$P = 1000 \cdot Q \cdot H \cdot \eta / 75 = [CV] = 10 \cdot Q \cdot H = [CV]$$

o bien

$$P = 7,4 \cdot Q \cdot H \text{ [KW]}$$

Para un cálculo previo de la potencia de la turbina o del generador a ella acoplada se utilizan estas dos últimas fórmulas, que son bastante aproximadas dentro de los límites prácticos de rendimientos de turbinas y generadores. Por ejemplo, en un salto de agua de 50 m, con 50m³/seg de caudal, hay una potencia teórica disponible:

$$P_t = 1.000 \times 50 \times 50 / 75 = 33.750 \text{ CV}$$

Para esta potencia deben proyectarse la turbina o turbinas hidráulicas. Pero la potencia útil del salto de agua, es decir, la transformada en energía eléctrica es

$$P = 10 \times 50 \times 50 = 22.500 \text{ CV}$$

$$P = 7,4 \times 50 \times 50 = 18.500 \text{ Kw.}$$

Ahora, si suponemos

$$\eta_g = 0,82$$

El generador o generadores eléctricos deben estar proyectados para una potencia.:

$$P_g = 18.500 / 0,82 = 22.600 \text{ [kW]}$$

Rendimiento de las turbinas hidráulicas.

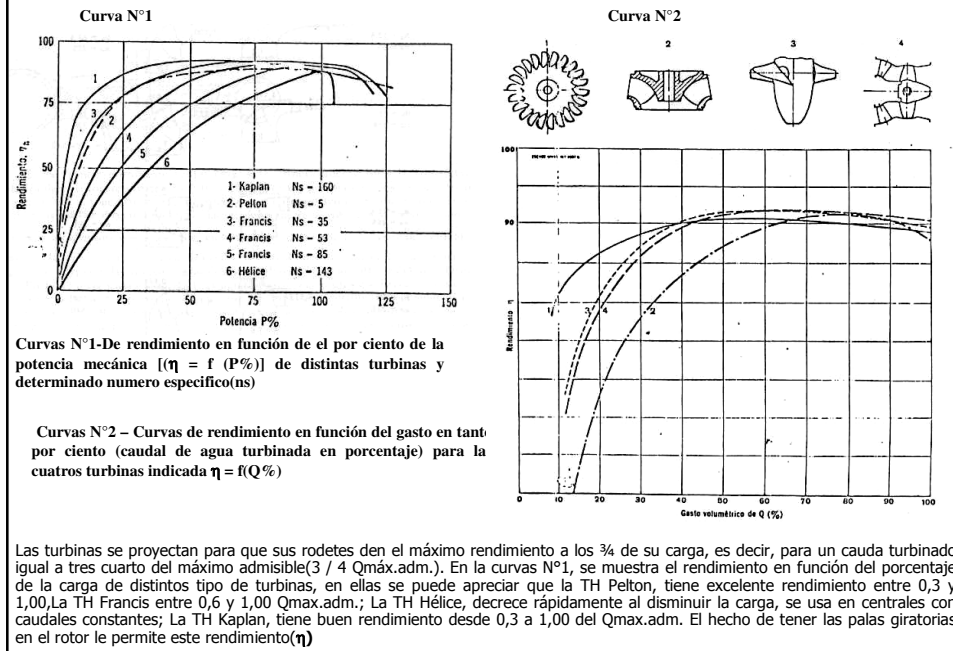
Como sucede en todas las máquinas, durante el funcionamiento de las turbinas se producen pérdidas de energía que determinan el rendimiento de aquéllas. Las principales causas que producen estas pérdidas de energía son:

- Rozamiento del agua en el distribuidor.
- Pérdidas en el rodete producidas por el choque de entrada y por el cambio brusco de velocidad de los filetes de agua que salen del distribuidor y chocan con los bordes de los alabes del rodete.
- Rozamiento del agua en el tubo de aspiración.
- Distancia que hay entre el distribuidor y el rodete, por donde se escapa una parte del agua.
- Resistencias pasivas en los cojinetes, gorriones, etc.

Velocidad de salida del agua que, aunque pequeñas es necesaria para que el agua salga al exterior de la turbina.

El conjunto de todas estas pérdidas determina el rendimiento de la turbina. En las turbinas modernas, el rendimiento es elevado y oscila entre 0,85 y 0,95. En una misma turbina, los rendimientos son muy variables y dependen, naturalmente, del caudal ya que la altura del salto es constante.

Centrales Hidráulicas: Rendimientos de turbinas 24



Centrales Hidráulicas: Elementos que la constituyen 29

Elementos de una central hidráulica.

A continuación estudiaremos, los elementos constructivos que conforman una central hidráulica:

- Presa.
- Canal de derivación.
- Cámara de presión.
- Chimenea de equilibrio.
- Tubería de presión.
- Canal de desagüe.

Presa: Se llama presa, a una construcción que se levanta en el lecho del río, para atajar la agua, permitiendo una elevación de nivel que le permite la derivación de ella, o bien para almacenar el agua regulando de esta manera el caudal del río. Por el objeto que están construida, las presas se dividen en:

1. Presa de derivación.
2. Presas de embalse.

Las presas de derivación, llamadas también de "asud" y de vertedero o de pelo libre, están dispuestas para elevar el nivel del agua, contribuyendo a crear un salto y siendo de efecto secundario el almacenamiento del agua cuando lo requiere las necesidades de consumo. Normalmente esta dispuesta para que vierta por encima de ella mediante un vertedero denominado también "aliviaderos de coronación".

Las presas de embalse, su objetivo es regular el caudal del río y elevar el nivel del agua para producir altura del salto. A los laterales del cierre, se hacen construcciones que se denominan "aliviaderos de superficie", que sirven para devolver caudales excedentes, cuando se ha llenado la presa, y debe tener una capacidad tal que permita evacuar la mayor creciente registrada

Clasificación de las presas.

El mismo criterio es valido para las presas de derivación que para las presas de embalse, se debe tener en cuenta que las ultimas son de construcción más robustas, por que, tienen que soportar mayores presiones de agua, ya que estas presas son de mayor altura. Si clasificamos las presas por el material que están construidas tendremos:

- Presas de materiales que se mantienen unidos por el peso, consiguiéndose la impermeabilidad por apelmazamiento del material mediante apisonamiento, sedimentación, etc. y/o por una pantalla impermeable de arcilla, en este grupo están comprendidas:
 - a) Presa de tierra.
 - b) Presa de escollera.
 - c) Presas mixtas de tierra y escollera.
 - d) Presas construidas de materiales coherente, que a la vez, proporcionan impermeabilidad y resistencia al conjunto.
 - e) Presas de hormigón armado. Estas son las más usadas (H° , A°), siempre y cuando sea posible su construcción.

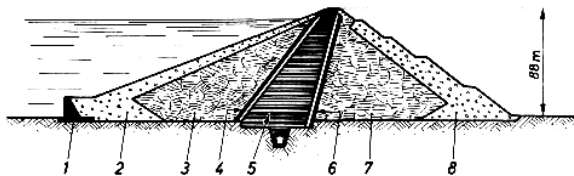
Centrales Hidráulicas: Tipos presas usadas

30

Presas de tierra y escolleras.

Normalmente se usan presas mixtas de tierra y escolleras, y una capa impermeable, situada en el paramento aguas arriba. La escollera constituye el macizo estabilizador de la presa. La capa impermeabilizada esta dada por una pantalla de arcilla apisonada. En la Fig. N°28, se muestra que el núcleo impermeable interno está construido por arcilla apisonada recubierta de espaldones de escollera y relleno permeable de pizarra apisonada. El paramento aguas arriba y el pie del talud aguas abajo están construido por escolleras vertidas

Fig. N°28 - presa de tierra y escollera: 1- atagüa, 2- paramento de aguas arriba, de escollera vertida, 3 - relleno apisonado, 4- pantalla de hormigón en masa, 5- núcleo de arcilla apisonada, 6- pantalla de hormigón en masa, 7- relleno apisonado, 8- talud aguas abajo de escollera.



Presas de hormigón armado.

Estas presas son las que se usan con mayor frecuencia, en aprovechamiento hidráulicos, como presa de derivación o como presa de embalse. Estas presa requieren cimentación sobre roca sana, resistente e impermeable. Los tipos más interesantes de presas de hormigón armado, son: "Presa de gravedad".

- Presa de arco sencillo.
- Presa de arcos múltiples.
- Presa de contrafuerte.

En la presa de gravedad los esfuerzos a que se halla sometidos debido a la presión del agua sobre el paramento de aguas arriba se resisten por el propio peso de la presa. En la Fig. N16, se muestra el perfil de una presa de gravedad, como puede verse el perfil es triangular. El paramento aguas arriba es a veces vertical o ligeramente inclinado, el paramento aguas abajo o talud, con una inclinación de 2 a 5 m de base por cada metro de altura.

Centrales Hidráulicas: Tipo de presas usadas

31

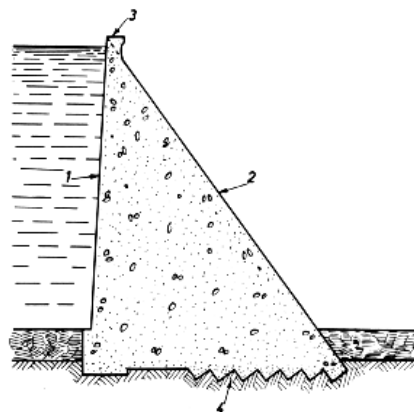


Fig. N°29- Perfil de una presa de gravedad: 1- paramento aguas arriba, 2- talud o paramento aguas abajo, 3- coronación, 4- base.

El perfil de la presa debe ir ensanchándose hacia la parte inferior, debido a que la presión del agua va aumentando con la profundidad. La presa completa en su parte superior o coronación, es ligeramente inclinada hacia aguas arriba, la base con cimiento en forma de cuña para darle más seguridad al paramento. Fig. N°29

La presa de arco sencillo.

A causa del perfil transversal del cauce donde esta situada y por la planta curva de la presa, resiste como si fuera una bóveda, transmitiendo las cargas a los estribos, este tipo de instalación se usa en gargantas estrechas y de gran altura. Se usa mucho menor hormigón que en las de gravedad Fig. N°31a y Fig. N°31b.

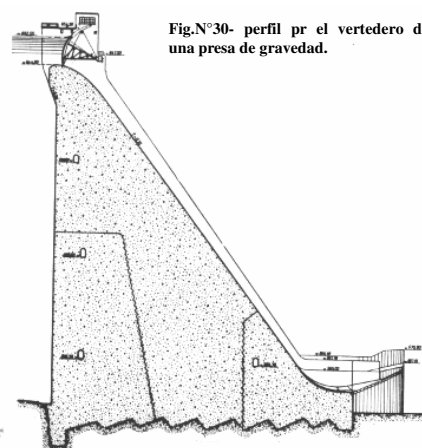


Fig.N°30- perfil pr el vertedero de una presa de gravedad.

Centrales Hidráulicas: Tipo de presas usadas 32

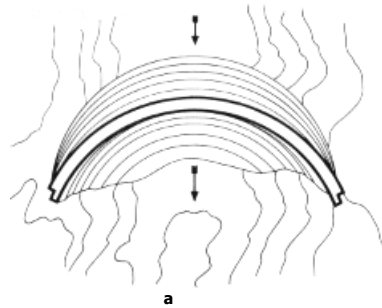
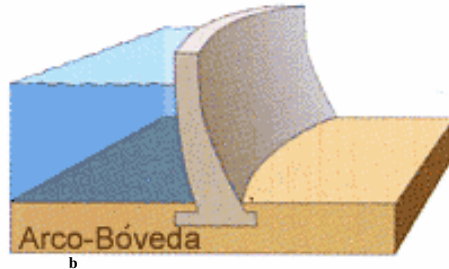


Fig. N°31a- presa de arco sencillo,31 b- paramento de presa de arco sencillo



Presas de arco múltiple.

El perfil transversal queda dividido en varios vanos que se unen por medio de bóvedas ver Fig. N°32. Los esfuerzos debido a la presión del agua son transmitido por los arcos a los contrafuertes y a los estribos de la presa, se usa menos material que en las anteriores

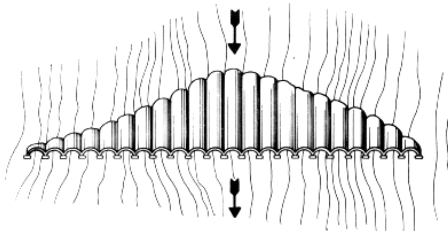


Fig. N°32-Presa de arcos múltiples

Centrales Hidráulicas: Tipos de presa y aliviadero 33

Presas de contrafuerte.

Este tipo de presa esta formada por pantalla sustentada por contrafuertes, del lado aguas arriba, la pantalla puede ser vertical o inclinada, este tipo de obra tiene la ventaja que se emplea menor volumen de material. Fig. N° 32a y Fig. N°32b.

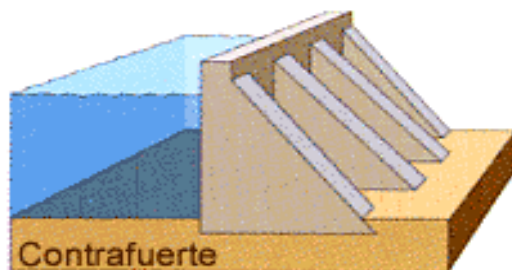


Fig. N°32 a- perfil de una presa de contrafuerte, b- corte horizontal

Aliviaderos.

Los aliviaderos se utilizan para proporcionar adecuada salida del agua sobrante cuando el embalse esta lleno, y deben tener capacidad suficiente como para erogar la máxima creciente registrada.

En las presas de tierra y escollera, el aliviadero se dispone independientemente de la presa y si es posible, aprovechando una depresión si es que existe o un valle inmediato también construyendo en curva de nivel aguas arriba, un canal evacuado que atraviese la presa o las márgenes de la roca en galería de manera que permita evacuar las aguas hasta reingresar en las aguas del río. Los aliviaderos citados se llaman "aliviadero de superficie".

Muchas veces se dispone de aliviaderos sobre la coronación de la presa, en forma de vertedero, los que denominan "aliviaderos de coronación", este es más económico que el de superficie, hay que evitar los peligros de erosión en la base de la presa, por la energía cinética del agua que se vierte por el aliviadero. En muchos casos, el agua sobrante se realiza por la acción conjunta de aliviaderos de superficie y aliviadero de coronación.Fig.N°33.

Centrales Hidráulicas: Aliviaderos y tomas

34

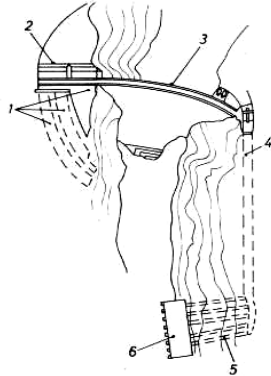


Fig. N° 33- representación esquemática de una central hidráulica con aliviadero: 1- aliviadero, 2- compuertas aliviadero, 3- presa, 4- túnel de derivación, 5- tubería de presión, 6- central eléctrica.

Desagüe de fondo.

El embalse de fondo sirve para vaciar totalmente la presa, sobre todo en los niveles de agua que no alcance la toma de agua para turbina y/o la de riego, muy pocas veces se usa, salvo en emergencia de la presa que requiere una reparación, o en caso limpieza de sedimento de la presa. La disposición y cierre de los desagüe de fondo es similar a las toma de agua.

Toma de agua.

El número y capacidad de las tomas de agua de un embalse, depende del volumen embalsado, de la altura y del agua que debe turbinar y del agua que se use para riego y/o para bebida. Normalmente se usa tomas de agua para turbina y tomas de agua para riego y/o para bebida.

Las tomas de agua se cierran y regulan por medio de compuertas y válvulas, en cada toma de agua se debe colocar dos cierre, para evitar que una avería inutilice la toma. El cierre de aguas arriba se llama "cierre de seguridad" y en explotación normal a de quedar completamente abierto o completamente cerrado el de aguas abajo es el "cierre de regulación o de servicio" y puede quedar parcialmente abierto de acuerdo a las necesidades de operación, para poder operar las compuertas de cierre se debe igualar las presiones en ambas cara de la compuerta por medio del By-pass, si ocurre una avería en la compuerta de servicio, para reparar se puede cerrar la de reserva o seguridad. Ver Fig. N°34. Para evitar la entrada de cuerpos extraño que arrastra el agua (piedra, ramas, etc.), se coloca rejilla antes de dicho cierre, estas rejillas constan de una estructura de hormigón armado que divide el vano total en varios vanos parciales Estas rejillas se deben limpiar periódicamente y lo que no es fácil por la profundidad en que se encuentra. Esta tarea se la realiza por un grupo de buzos.

Se utiliza para conducir el agua desde la presa, hasta la "cámara de presión" donde termina el canal y se inicia la tubería de presión. Normalmente estos canales son revestido de hormigón o hormigón armado para evitar problemas de filtraciones.

Centrales Hidráulicas: Tomas y canales

35

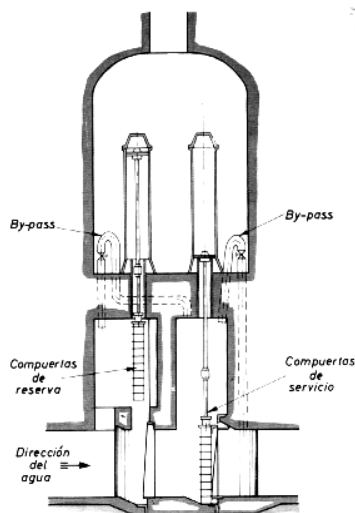


Fig. N°34- toma de agua de presa de hormigón, con indicación del cierre de seguridad (compuerta de reserva) y de cierre de regulación (compuertas de servicio)

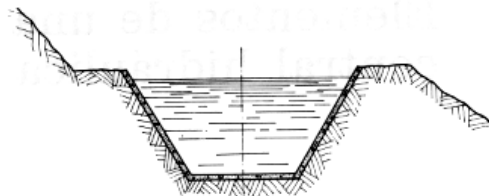


Fig. N°35 - Sección canal de derivación en desmonte

Canal de derivación Los canales pueden realizarse en:

Canal de derivación en desmonte, es decir excavado en el terreno Fig. N°35. Solución que es buena a los efectos de estabilidad, siempre y cuando se cuente con una buena roca, (resistente y sin grietas y fisuras)

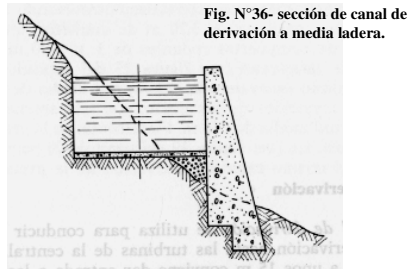


Fig. N°36- sección de canal de derivación a media ladera.

Centrales Hidráulicas: Canales y cámara de presión 36

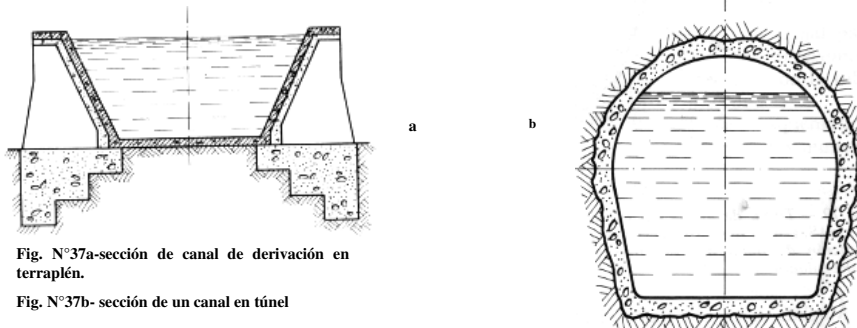


Fig. N°37a-sección de canal de derivación en terraplén.

Fig. N°37b- sección de un canal en túnel

Canal de derivación en media ladera, excavado en la ladera por un lado y disponiendo del terraplén por el otro, también se requiere tener una ladera estabilizada y que permita hacer una buena fundación y un terraplén estabilizado Fig.36.

Canal de derivación en terraplén la obra cuenta con terraplén para ambos lados. Fig. N° 37a, se recurre a este tipo de obra en forma excepcional. Por que es más cara y se debe consolidar por medio de contrafuertes y cimiento normales.

Canal en túnel, no se debe confundir con un túnel de presión, ya que en estos el agua se conduce a presión, mientras que en los canales en túnel, se desplaza por desnivel del terreno, sin una carga hidráulica importante. Conociendo el principio y final del canal, convendría construirlo en línea recta, por que tendría menor longitud y menor pérdidas de salto. Pero esta solución ideal casi nunca es posible, por que hay que salvar accidentes del terreno y también deben evitarse los canales con terraplén, que resultan cara su construcción y es elevado el mantenimiento Fig. N°37b.

Cámara de presión: Se construye al final del canal de derivación y desde esta cámara parte la cañería de presión. A continuación se indica las distintas partes que la conforman a esta obra: a) Eje de cámara de presión; b) Compuertas; c) Rejillas; d) Desagüe de fondo; e) Aliviadero de superficie; e) Pantalla de H°A° que deriva los cuerpos flotantes al aliviadero. ; f) Canal de descarga.

Centrales Hidráulicas: Cámara de presión 37

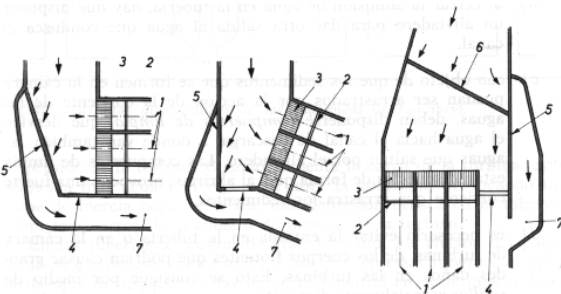


Fig. N°38-Distintas disposiciones de la cámara de presión de turbina: 1- eje de cámara de turbina, 2- compuertas, 3- rejillas, 4- desagües de fondo, 5- aliviadero de superficie, 6- pantalla de H°A°, para desviar los cuerpos flotantes hacia el aliviadero, 7- canal de descarga.

En la disposición de la cámara de presión se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones

- Se debe colocar un cierre ante del principio de la tubería, para aislar estas cuando sea necesario, de forma que se pueda efectuar una reparación de la turbina o la tubería, manteniendo en funcionamiento las otras máquinas
- Al cerrar la admisión de agua en la tubería, hay que disponer de un aliviadero para dar salida al agua que conduzca el canal
- Con el objeto de que los sedimentos que se depositen en la cámara sean arrastrados por la acción de la corriente de agua deben disponerse de "compuertas de limpieza", que desvíen las aguas hacia el canal de descarga, donde van también las aguas, que pasan por el aliviadero. Las compuertas de limpieza están dispuestas de manera que al abrirla provocan una fuerte corriente que arrastran los sedimentos.
- Es necesario evitar la entrada en la tubería, de cuerpos flotantes (troncos, ramas, témpanos de hielo, etc.) que podrían causar grandes daño a las turbinas, esto se consigue por medio de rejillas dispuestas para tal fin.

Golpe de ariete.

Antes de comenzar con tuberías de presión, conviene definir lo que es el "golpe de ariete" y los principios para reducir sus efectos.

Se denomina "golpe de ariete", a la variación de presión en una tubería, por encima o por debajo de la presión normal, ocasionadas por bruscas fluctuaciones de caudal. Cuando el generador varía su carga bruscamente y por ende la turbina, el regulador automático de la turbina cierra la admisión de agua y los efectos de inercia de ésta, provoca un golpe de "ariete positivo", es decir una sobrepresión en la tubería.

Centrales Hidráulicas: Chimeneas y tubería

38

Cuando aumenta la carga en la turbina, esta demanda más agua y el regulador sobre la admisión, provocando un golpe de inercia negativo o sea una depresión brusca en la tubería y sobre todo en la entrada de la turbina.

En la tubería de presión de gran longitud, los efectos de golpe de ariete son importantes, además en estas tuberías, el agua tarda más tiempo que en las tuberías de corta longitud, en acelerarse o desacelerarse lo necesario hasta alcanzar la velocidad del agua al nuevo régimen de carga que necesita la turbina.

Para evitar estos inconvenientes se disponen en la tubería, de "chimeneas de equilibrio" como vemos en la Fig. N°39

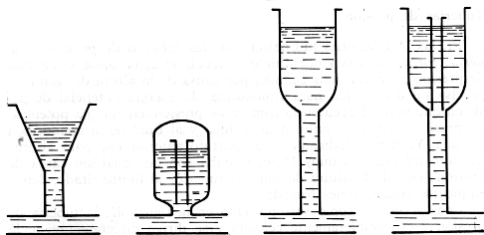


Fig. N°39 -Distintas disposiciones de chimeneas de equilibrio

En la Fig. N°39, se muestra algunas variantes. Una chimenea de equilibrio en esencia es un pozo, vertical o inclinado, abierto en la parte superior, situado en la tubería de presión, lo más cerca posible a la turbina. Cuando se produce un golpe de ariete positivo en la tubería junto a la turbina, encuentra menos resistencia a vencer en la chimenea y actúa sobre el agua de ésta, elevando el nivel y produciendo una desaceleración de del agua en la tubería. Cuando se produce un golpe de ariete negativo, baja el nivel del agua en la chimenea de equilibrio actúa como muelle mecánico, evitando variaciones bruscas de presión.

Tubería de presión.

"La tubería de presión o tuberías forzadas", tiene el objeto de conducir el agua desde la cámara de presión, a la turbina, cuando por causa de la altura del salto se requiere, esta disposición transforma la energía potencial de posición que tiene el agua en la cámara de presión en energía cinética, que tiene junto a la turbina y al final de conducción forzada. Cuando la altura del salto es superior a 15m se debe usar conducción forzada.

Centrales Hidráulicas: Tubería de presión

39

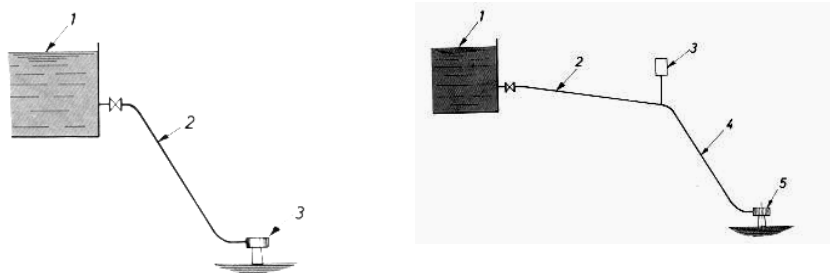


Fig. N°40 -a- la tubería de presión 2 es completamente cerrada y une 1 a cámara de presión con la turbina. En otras ocasiones; b, se dispone de un primer tramo de tubería de presión 2 con escasa pendiente, hasta la chimenea de equilibrio 3. A partir de ésta sigue un segundo tramo 4, con pendiente mucho más pronunciada, que une la chimenea con la turbina.

La primera disposición se adopta, cuando la unión de la cámara de presión o el embalse, puede hacerse mediante una línea de gran pendiente y longitud relativamente pequeña. La segunda disposición se usa cuando la cámara de presión o el embalse regulador quedan muy alejado de la turbina. En este caso, la unión directa de ambos elementos, por medio de una tubería forzada haría que ésta quede expuesta a las sobre presiones provocadas por golpe de ariete, lo que obliga a darle un a resistencia tal que es antieconómica. Además al ser la tubería de gran longitud tardaría mucho tiempo en acelerarse o desacelerarse el agua, como consecuencia de las variaciones de carga de las turbinas. La instalación de chimenea de equilibrio, entre los dos tramos de tubería forzada Fig. N°40 b, hacen que los golpes de arietes queden prácticamente anulados en dicha chimenea. El segundo tramo es la tubería de presión forzada.

En lo que se refiere a los materiales usados, Para tubería tendremos:

- Palastro (chapa de acero laminado).
- Uralita (amianto cemento)
- H°A° (hormigón armado).
- Hormigón precomprimido.
- Galería de presión.

Tubería de presión de palastro, son muy usadas por que pueden adaptarse a las altas presiones. Son más usadas las tuberías de palastro de acero que las de hierro. Los tubos se forman arrollando chapas rectangulares de palastro, las que se le da forma cilíndrica, uniendo longitudinalmente los bordes de las chapas. Las virolas así obtenidas se la une por medio de uniones del tipo transversal. Las uniones longitudinales y transversales se las hace por roblonados y generalmente se las une con soldadura. Cuando en las tuberías se colocan piezas especiales (tales como válvulas, juntas de dilatación, etc.) las uniones transversales se las hace con bridas.

Generalmente se las montan al aire libre, apoyadas sobre macizos de hormigón. En los puntos de cambio de rasante y cambio de alineación se construye apoyos fijos denominados anclajes de hormigón macizo ver Fig.Nº41a y b

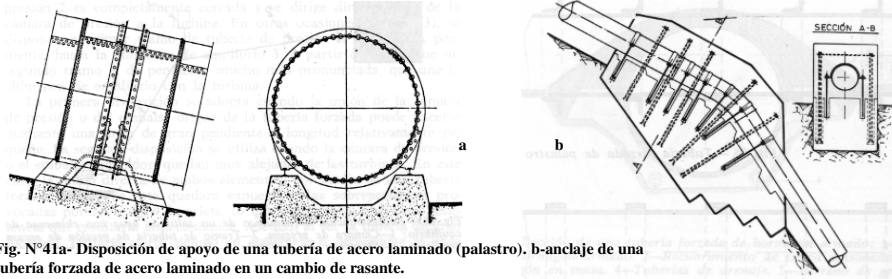


Fig. Nº41a- Disposición de apoyo de una tubería de acero laminado (palastro). b-anclaje de una tubería forzada de acero laminado en un cambio de rasante.

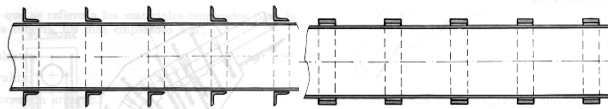


Fig. Nº42- a-Tuberías zunchada, se refuerza las tuberías por anillos con hierro, b- Tuberías brindadas, se monta exteriormente en caliente anillos de refuerzos de sección rectangular y sin soldaduras que al enfriarse quedan aplicados fuertemente a presión sobre la tubería.

Algunas veces, se refuerzan las tuberías metálicas, por diversos procedimientos, estos refuerzos aumentan la resistencia de las tuberías cuando se llega a un diámetro determinado que no conviene reducir el diámetro, para no aumentar la velocidad del agua en la cañería y los golpes de ariete.

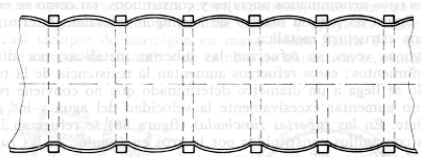


Fig. Nº43 Tubería de chapa pre-formada con anillos de refuerzos

Fig. Nº43, tuberías preformadas, construidas con tubos de diámetros ligeramente inferior al de los anillos de blindaje, estos se montan en frío debidamente espaciados. Después se lo somete al tubo a una presión de 25kg/mm², bajo esta presión las chapas se dilatan apoyándose en los anillos de blindaje y obteniendo el perfil ondulado, con gran reducción de peso con respecto a las tuberías soldadas.

Tuberías de amianto- cemento, se usan en saltos de poca potencia y alturas de hasta 150m, con excelentes resultados, por su bajo costo, se fabrican hasta de 4m, juntas adecuadas para darle estanqueidad a través de aros de goma vulcanizadas. Generalmente se las usa enterradas en zanjas

Tuberías de hormigón armado, se utilizan en gran caudal y alturas de unos 40m. La Fig.44 se ha representado la sección de una cañería de Hº. Aº y están construidas por espiras de hierro que hacen de directrices y por varillas de reparto que son generatrices, fundidas ambas armaduras en hormigón hidráulico

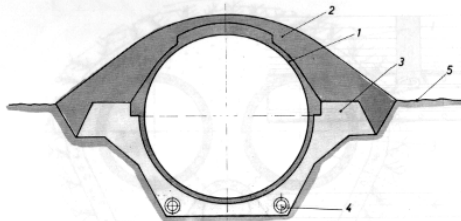


Fig. Nº44- sección de tubería forzada de HºAº: 1- tubería forzada de HºAº, 2- recubrimiento de piedra apisonada, 3- soporte de hormigón en masa, 4- tuberías de drenaje, 5- terreno de grava.

Es conveniente fabricarlas muy cerca e la obra para evitar gastos de transporte elevados. La tubería se apoya sobre una solera adecuada, generalmente están enterradas o semienterradas. Las juntas se muestra en Fig.44

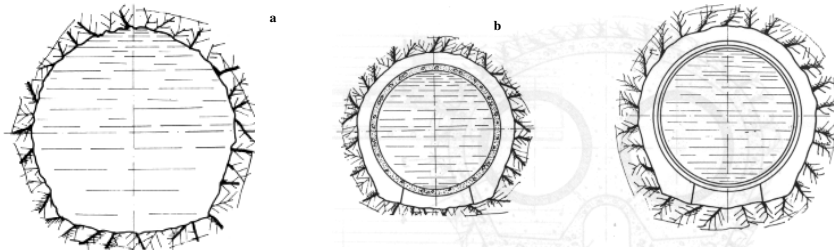


Fig. N°45 -a - galería de presión enclavada en la roca, b- galería de presión con revestimiento de H²A°, c- galería de presión con revestimiento de chapa de acero laminado.

Galería de presión enclavada en la roca, son directamente excavadas en la roca y se utilizan para unir el embalse con la chimenea de equilibrio, se construyen con escasa pendiente (1:1.000), como la chimenea absorbe el golpe de ariete, la galería de presión esta sometida algo más que la presión debida a la altura del nivel del embalse. Cuando la roca es impermeable se construye la galería sin revestimiento alguno, en caso, contrario se la recubre con palastro u hormigón

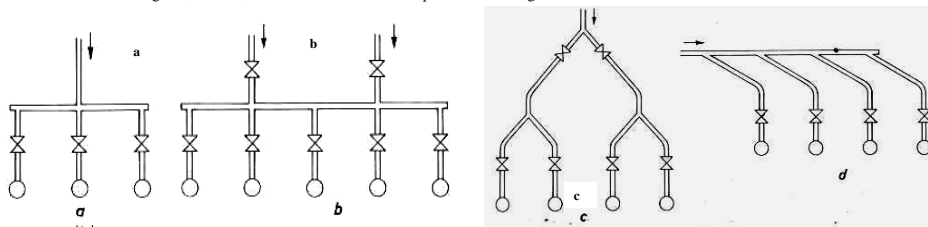


Fig. N°46- Distintas formas de distribución de las tuberías a turbinas, en la jerga se las llaman “pantalones”

Unión de tuberías de presión a las turbinas. La solución ideal sería que cada turbina sea alimentada por su propia tubería a presión. Cuando esto no es posible por cuestiones económicas, se puede servir dos o más turbinas con una sola tubería, en cuyo caso se debe disponer de un sistema de seccionamiento, que permita operar la turbina que se desee, esto se consigue por medio de válvulas apropiadas. En la Fig. N°46 se muestra cuatro disposiciones distintas de distribución de agua, procedente de una o varias tuberías de presión a varias turbinas, en a y b las derivaciones se hacen en ángulo recto, su construcción es más fácil, pero son preferible las disposiciones c y d, con derivaciones oblicuas, en este caso las pérdidas de presión son menores. En el origen de la tubería de presión hay que instalar un órgano de cierre hermético (puede ser válvula o compuerta), accionada a veces desde la central y cuenta con su indicador de posición

Los cierres a lo largo de la tubería, en sus uniones con el colector y en ramificaciones a las turbinas, se realizan por medio de órganos de cierre u obturación llamados válvulas. Para facilitar la operación de las válvulas cuando éstas están sometidas a una gran presión hidráulica, se dispone una comunicación lateral entre aguas arriba y aguas de cierre, denominada *by-pass*, lo que permite igualar las presiones a ambos lado del elemento de cierre y de ésta manera facilita la operación de apertura. La cañería del *by-pass* es de mucho menor diámetro que la tubería de presión. Si hay presión de un solo lado de la válvula (aguas arriba), para abrirla primero se abre el *by-pass*, hasta que se llene la parte de la tubería aguas abajo que esta vacía e iguales presiones, ahora sí puede operarse la válvula principal en apertura sin inconveniente y con facilidad

Compuertas.

Las compuertas se usan para cerrar canales de agua y tuberías, como también para regular el agua en dichas conducciones. En aprovechamiento hidroeléctrico, las compuertas se usan en toma de agua, en desagüe de fondo, en canales de derivación, etc. Las compuertas utilizadas en todos los sitios indicado son de construcción similar, siendo más robustas en el caso de las tomas de agua cuando están sometidas a elevadas presiones.

En los aprovechamientos hidroeléctricos, se usa con frecuencia cerrar los vanos de paso de agua por medio de tableros en forma rectangular que se apoyan en la parte inferior por un umbral de piedra, madera dura hierro, y en las partes laterales, sobre ranuras, generalmente verticales. Estas están construidas en acero laminado y el conjunto se denomina “**compuertas deslizantes**” estas compuertas que tienen apoyo continuo en todo su contorno sobre una guarnición fija, ofrecen garantía de impermeabilidad, para bajas presiones y tamaños moderados

En grandes compuertas se dispone de tablero móvil, dispositivos de rodadura, que disminuye considerablemente el esfuerzo para el accionamiento de las mismas. En al “**compuertas vagón**”, estos dispositivos tienen sus ejes fijos a la compuerta, como se ve en la Fig.N°47 y 48

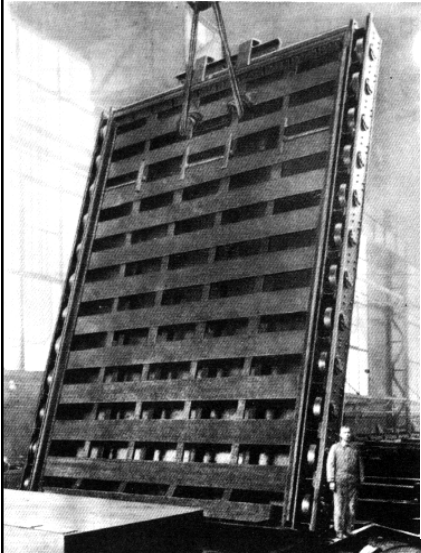


Fig. N°47- compuerta vagón Voith, para salto de 23m, dimensiones de la compuerta, ancho 4m, altura 6, 5m.

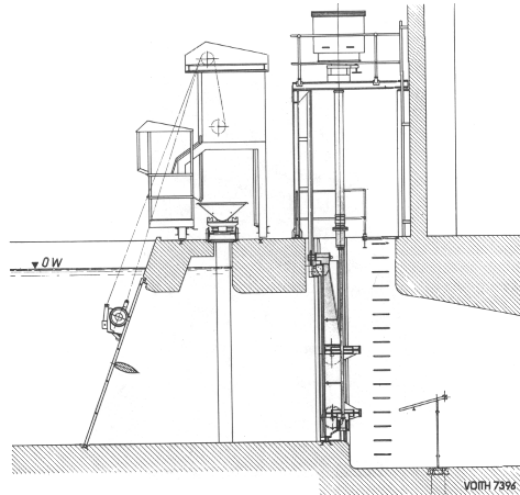
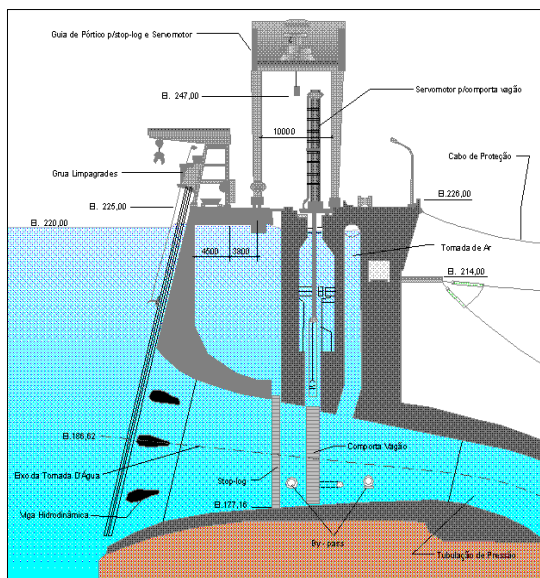


Fig. N°48- compuerta vagón doble montada en la toma de agua de una central hidroeléctrica

Toma de agua para turbina de CH Itaipú



Centrales Hidráulicas: Compuertas automáticas 45

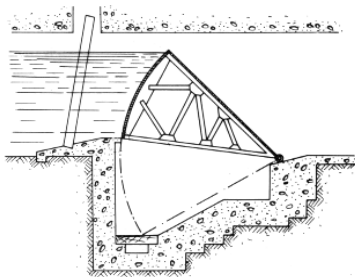


Fig. N°49- Sección de compuertas de sector

Compuertas de sectores muestra en Fig. N°49, éstas compuertas de sector circular, el agua evacua sobre el sector y su eje, por lo tanto, puede quedar inundado

Compuertas automáticas.

Vamos a describir un accionamiento óleo hidráulico para compuerta realizado por la firma Voith Fig. N°50, con gobierno a mano y preparado para compuerta de rodillo. El servomotor consta del cilindro de acero 1, que asienta con consolas sobre el soporte 2. En el extremo inferior del cilindro esta atornillada la cabeza de éste 3, y el extremo superior del mismo cilindro, la tapa 4, con interruptor final de carrera 5. En el interior del cilindro se desliza un émbolo 6 que, mediante su vástago 7, se une a la cabeza 8 de suspensión en el tablero de la compuerta 9, en la parte inferior del cilindro hay una camisa obturadora 10.

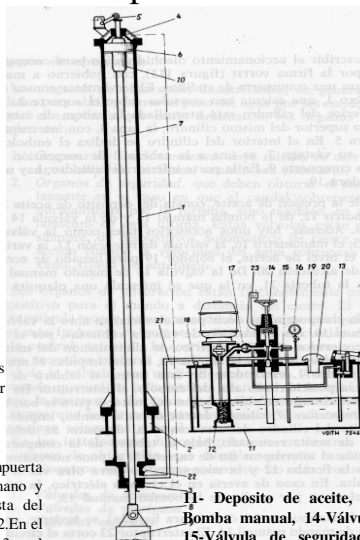


Fig. N°50 - Elevador para accionamiento óleo hidráulico para accionamiento de compuerta servomotor: 1- cilindro de acero, 2- soporte de cilindro de acero, 3- cabeza del cilindro de acero, 4- tapa de cilindro de acero, 5- interruptor de fin de carrera, 6- émbolo, 7- vástago del émbolo, 8- cabeza del émbolo, 9- tablero de compuerta, 10- camisa obturadora

11- Deposito de aceite, 12-Bomba motriz, 13-Bomba manual, 14-Válvula de mando manual, 15-Válvula de seguridad, 16-Manómetro, 17-Válvula de retención, 18-Varilla para medir el aceite, 19-Colador para el llenado de aceite, 20-Caperuza de aireación, 21-Tubería de la válvula de mando manual, 22-Orificio de obturación, 23-Interruptor de enclavamiento de eléctrico de la bomba.

Centrales Hidráulicas: Órganos de obturación 46

El equipo de presión de aceite, consta de un depósito de aceite 11, de la bomba motriz 12, la bomba manual 13 y de la válvula 14 de mando manual, además hay accesorio como la válvula de seguridad 15, manómetro 16, válvula de retención 17 y varilla 18 para medir nivel de aceite. De la válvula 14 de mando manual al servomotor va la tubería 21, en la que se intercala una placa de obturación 22.

Para abrir la compuerta (para elevarla), se abre la válvula de mando manual 14. En la posición válvula abierta, por el interruptor 23 se cierra el circuito eléctrico de alimentación del motor eléctrico, que arranca y acciona la bomba 12, la cual impulsa el aceite a presión al cilindro 1, elevando de ésta forma el tablero de la compuerta, en la posición mas alta del émbolo, el interruptor de fin de carrera 5, corta el circuito de alimentación del motor y para la bomba.

La válvula de retención 17, situada detrás de esta bomba, impide el reflujo del aceite del cilindro del servomotor al deposito. Si debido a pérdida de aceite, baja el tablero de la compuerta unos 10cm, actúa el interruptor de fin de carrera 5, y se pone en movimiento la bomba 12 y la compuerta se eleva otra vez a su posición más alta. En caso de avería en el circuito eléctrico, la compuerta puede elevarse por medio de la bomba manual 13.

Para cerrar la compuerta (es decir para bajarla), se invierte la válvula de mando manual 14. El interruptor 23 corta el circuito de alimentación del motor y evita que la bomba se ponga en movimiento. Cuando se invierte la válvula, puede reflujar el aceite del cilindro 1 al deposito 11 por la válvula de mando 14 y cierra, por su propio peso, la compuerta de rodillos. El tiempo de cierre esta determinado por la placa de obturación 22. Poco antes de la posición de cierre, la camisa de obturación 10 inmerge en la cabeza 3 del cilindro y se estrecha lentamente el paso de salida. De manera que asienta la compuerta en el umbral.

Órganos de obturación.

En instalaciones hidroeléctricas, hay muchos órganos de obturación, los más frecuentes son:

1. Válvula compuerta.
2. Válvula de mariposa.
3. Válvulas esféricas.

Las válvulas compuertas, como su nombre lo indica se accionan de la misma forma que una compuerta, es decir, por desplazamiento vertical de un tablero deslizante por la guía. En la Fig. N°51, puede apreciarse el aspecto de una de ellas, construidas por la firma Escher wyss. El cierre de ésta válvula es estanco y lleva un dispositivo de by-pass, que permite compensar las presiones en ambas cara de la válvula, de ésta manera se puede operar con el menor esfuerzo.



Fig. N°51- válvula de compuerta Escher Wyss

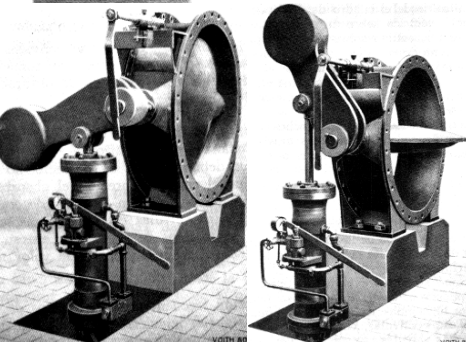


Fig. N°52- válvula de mariposa Voith, con accionamiento por el contrapeso y servomotor oleo hidráulico, válvula cerrada y abierta.

Para el movimiento válvulas de gran porte se emplean servomotor hidráulico que funciona con la presión de agua procedente de la tubería forzada. Estas válvulas se utilizan en canales abiertos, para el vaciado de fondo en embalse etc.

Las válvulas mariposa, se emplean como órgano de emergencia y de seguridad en el arranque de tuberías forzadas de centrales hidroeléctricas. En salto de altura media se adoptan como órgano de cierre delante de turbina según vemos en. Donde se muestra una válvula cerrada y abierta de la fabrica Voith, consta con una caja con un disco o plato de cierre lenticular y que gira sobre un eje diametral. Cuando la Fig. N°51 válvula mariposa está abierta queda la pantalla lenticular en el plano del eje de la tubería, mientras que en la posición de cerrada está oblicua, formando un ángulo de 80°, aunque en algunos caso queda perpendicular al eje de la tubería, es decir , formando un ángulo 90°. En válvulas de pequeñas dimensiones, el accionamiento es manual o sea con volante o contra peso. En válvula de dimensiones medias se utiliza un sistema mixto de contrapeso y servomotor a presión de aceite. Finalmente en válvulas el accionamiento es totalmente hidráulico Fig. N°52

Las válvulas esféricas, Fig. N°53 y Fig. N 54. Escher Wyss. Tiene forma esférica y giran alrededor de un eje horizontal, el cierre es estanco y las pérdidas muy pequeñas pues en posición de abierta, su sección se ajusta a la de la tubería forzada. Esta provista de válvula de equilibrio o by-pass para equilibrar presión a ambos lado de la válvula. El principal inconveniente es que su cierre no es rápido, lo que es importante en una emergencia.

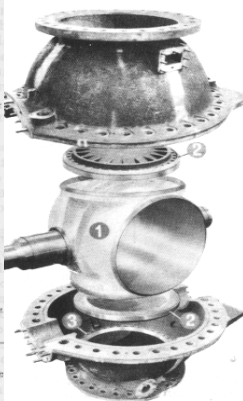
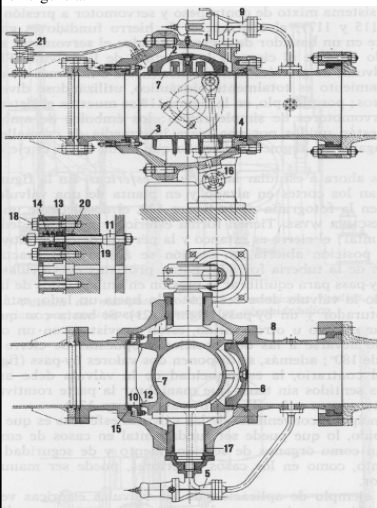


Fig. N°53- corte de alzada y planta de una válvula Escher Wyss: 1- cuerpo de válvula, 2- placa obturadora para cierre en servicio normal, 3- cuerpo rotativo, 4- asiento de placa obturadora, 5- válvula de descarga, 6- espacio de presión variable entre el cuerpo rotativo y la placa, 7- guiado cilíndrico del agua en la válvula, 8- tubería desmontable, 9- válvula de llenado (vy -pass) del conducto más halla de la válvula, 10- anillo metálico de estanqueidad de la junta de revisión, 11- varilla de maniobra, 12- asiento de la junta de revisión sobre el cuerpo rotativo, 13- asiento de los resortes, 14- resorte de apoyo de la junta, 15- junta circular, 16- grifo de purga, 17- juntas de los pernos, 18- tornillo de ajuste, 19- junta provisional, 20- guarnición de estanqueidad, 21- válvula de llenado de válvula esférica.

Fig. N°54- despiece de una válvula esférica Escher Wyss: 1- órgano rotativo, 2- obturadores móviles, 3 anillos de estanqueidad

1) POR DONDE SE VA EL AGUA CUANDO NO PASA POR LA TURBINA?

Yaciretá: un ejemplo de central de pasada
Esta obra construida conjuntamente por Argentina y Paraguay cuenta con una central equipada con 20 hidrogenadores de una potencia instalada total de 3.200 MW, y un Vertedero provisto de 18 compuertas radiales. La presa mide 64,7 km y el cuarto de máquinas tiene 70 metros de altura desde los cimientos hasta el techo.



Centrales Hidráulicas: “Golpe de Ariete”

20

Golpe de Ariete de una turbina: pantalla deflectora, orificio compensador y Chimenea de equilibrio.

La sobrepresión que se produce al cerrar una válvula o en nuestro caso al cerrar el distribuidor de una turbina, esta en razón directa de la longitud de la tubería forzada; luego el “**golpe de ariete**” se presentará más en los saltos de gran y mediana altura, en que la tubería forzada tiene mayor longitud.

Supongamos en una central un grupo que queda bruscamente sin carga. Si el distribuidor o el inyector Pelton se cerrasen lentamente, la turbina se embalaría, lo que puede originar una seria avería mecánica; pero si el distribuidor o el inyector se cierra rápidamente se produce “**el golpe de ariete**”. Para superar este problema se utiliza en las turbinas Francis “**el orificio compensador**”, en las turbinas Pelton la “**pantalla deflectora**”, y en unas y otras “**la chimenea de equilibrio**”.

El orificio compensador:

Es esencialmente es un orificio obturado por una válvula, que cuando la turbina queda sin carga, se abre la válvula automáticamente. Al abrirse pone en comunicación directamente “**la cámara espiral**”, con el canal de salida sin pasar por el rodete. De esta manera la turbina no se embala, y con el fin de que no se gaste mucho agua, el distribuidor se cierra lentamente evitando así el golpe de ariete. La temporización de los movimientos: lento de cierre del distribuidor y rápido de apertura del orificio compensador se consigue en la regulación automática con un relé hidráulico. En la Fig. N°25- Se muestra un orificio compensador obturado por una válvula de la C.H. Escaba, que recibe el nombre de válvula sincronica, por que opera en sincronismo con el cierre del distribuidor, comandado todo por el regulador de velocidad

La pantalla deflectora:

Si la turbina Pelton queda sin carga, la pantalla deflectora automáticamente se hunde en el chorro, desviándolo en el acto, evitando el embalamiento de la turbina. “**El golpe de ariete**” no se produce por que sigue circulando agua por el inyector y la tubería forzada. El inyector se cierra lentamente y su temporización se consigue con el regulador automático de velocidad. Fig. N°26, muestra la pantalla deflectora

La chimenea de equilibrio:

Se coloca lo más cerca posible de la central. La onda elástica de sobrepresión, no se propaga en la tubería que une la chimenea de equilibrio con el embalse por que la onda se refleja en ella. Por lo tanto la conducción entre la chimenea y el embalse esta sujeta a mucha menos presión y puede construirse como un túnel. Al mismo tiempo se reduce la longitud de la tubería entre la turbina y la chimenea de equilibrio, con lo que el “**Golpe de ariete**” queda disminuido. En la Fig. N°27, se muestra un corte de una central hidráulica, donde se puede apreciar la ubicación de la chimenea de equilibrio, de manera que pueda aliviar los efectos del “**golpe de ariete**”

Centrales Hidráulicas: Control “golpe de ariete” 21



Fig. N°25-Orificio compensador obturado por válvula o válvula sincrónica, T.H. Escaba

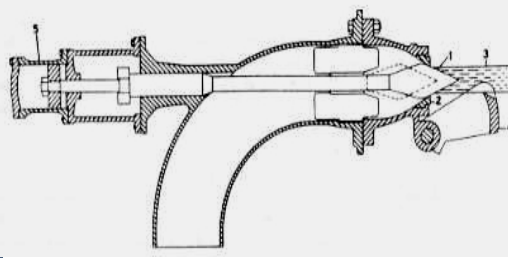


Fig. N°26-Corte del eyector T.H. Pelton, 1 – Aguja obturadora, 2 – Anillo de cierre, 3 – Chorro de agua, 4- Placa deflectora, 5 – Embolo de comando de la aguja

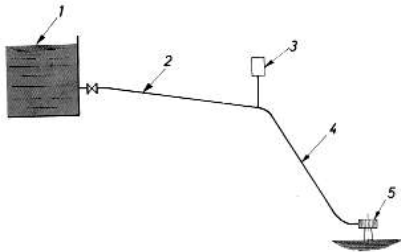


Fig. N°27- Corte de una central hidráulica con presa. 1- Cámara de presión, 2 – Tramo de tubería de presión, 3 Chimenea de equilibrio, 4 – Tubería de presión, 5 - Turbina

Cavitación

Cuando la presión ejercida sobre un líquido en movimiento, desciende por debajo de su presión de vaporización, éste se evapora formando gran número de pequeñas burbujas, que al ser arrastradas a zonas de mayor presión, terminan por estallar. La formación de estas burbujas y su subsiguiente estallido, es lo que constituye la cavitación. La experiencia demuestra que el estallido de esas burbujas genera impulsos de presión muy elevados, que van acompañados de fuertes ruidos (una turbina en cavitación suena como si a través de ella pasasen montones de grava), y que la acción repetitiva de esos impulsos produce una especie de corrosión difusa, formando picaduras en el metal (pitting.). Con el tiempo esas picaduras, degeneran en verdaderas grietas con arrancamiento de metal. Las elevadas temperaturas generadas por esos impulsos y la presencia frecuente de gases ricos en oxígeno, agravan la corrosión. Un alabe sometido a cavitación aparece al cabo de cierto tiempo lleno de cavidades, lo que obliga a sustituirlo o, si aún se está a tiempo, a repararlo recargándolo por soldadura.

Centrales Hidráulicas: Fenómeno de Cavitación

17

Fenómeno de la cavitación: Su nombre se debe a la formación de cavidades en el seno del líquido debido a burbujas de vapor dentro de la vena líquida, producida por una vaporización local a causas de ciertas condiciones dinámicas, por ejemplo alta velocidad relativa y consecuentemente una reducción de la presión local hasta el valor de la presión de saturación del vapor a la temperatura del líquido. Este fenómeno ocurre, cuando se eleva excesivamente la altura de aspiración H_s de la turbina, con el fin por ejemplo, de proteger el alternador contra inundaciones posibles por elevación del agua hasta ese nivel y/o la velocidad del agua a la salida del rodete es relativamente grande, lo que fácilmente tiene lugar en las turbinas rápidas o de n_s , elevado, la presión media p_2 , a la salida del rodete puede llegar a ser $p_2 \leq p_s$ (p_s es igual a la presión de saturación del vapor a la temperatura del agua en las turbinas) y por esta causa se produce la cavitación.

Más aún, sin que la presión media $p_2 \leq p_s$. La presión local en un punto cercano a la salida del rodete puede desender hasta dicho valor y producirse la cavitación en ese punto.

Estas condiciones se presenta en la parte convexa de los alabes, que conforman la zona de succión de una bomba o de una turbina, así como la región periférica de los rodetes, donde las velocidades tangenciales son elevadas. "La cavitación" es un serio obstáculo en el proyecto de turbinas, por que al producirse este fenómeno se origina la destrucción del material por "erosión y corrosión química", disminuyendo el rendimiento de la turbina y produciéndose vibraciones intensas. Modernamente se tiende a construir turbinas con potencia unitaria creciente, reduciendo su precio (también el del alternador) a costa de la disminución de su peso y dimensiones, lo que conduce a turbinas de mayor n_s , las cuales son más expuestas a "cavitar", (más cavita la Kaplan, que la Francis y esta más que la Pelton)

En la práctica se construyen turbinas en las cuales se puede originar "un grado de cavitación controlado", con erosión en los álabes tolerable que obligue a reparaciones periódicas, que no afecte el rendimiento ni el funcionamiento de la turbina.

El coeficiente de cavitación de Thoma (σ) se define para las turbinas hidráulicas, de igual manera que para las bombas

$$\sigma = [(P_{amb} - p_s) / \delta g - H_{sm\acute{a}x}] / H$$

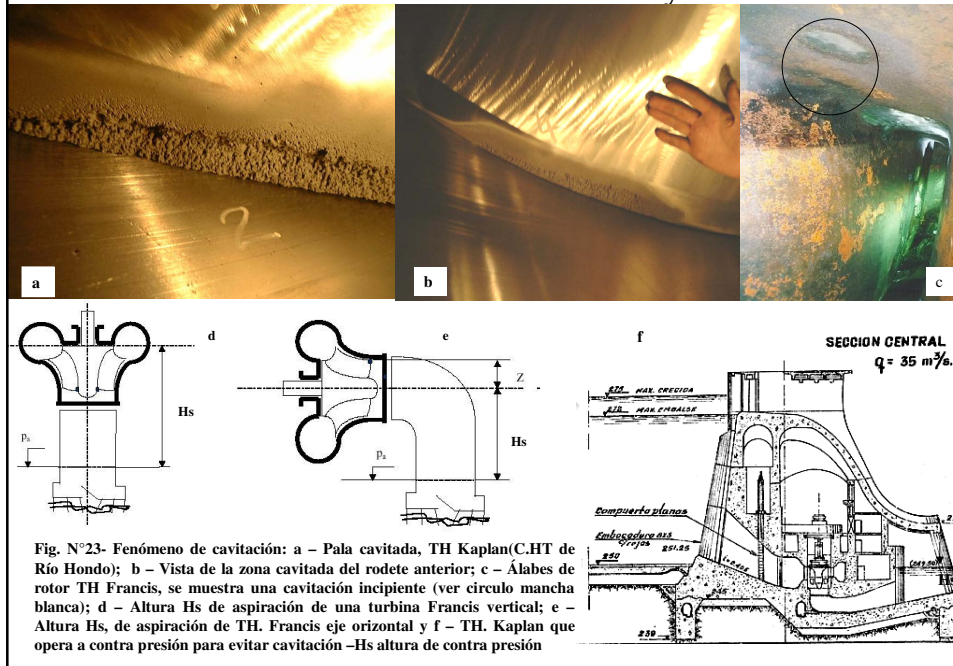
P_{amb} -presión atmosférica indicada por el barómetro; p_s - presión del saturación del vapor, como las turbinas hidráulicas trabajan con agua fría $p_s / \delta g \approx 0$, δ = densidad del agua, g = aceleración de la gravedad y $H_{sm\acute{a}x}$ valor máximo que alcanza la altura de aspiración cuando comienza la cavitación. Para evitar la cavitación se debe disminuir H_s .

Antiguamente se creyó que era una corrosión química únicamente debido al oxígeno disuelto en el agua a baja presión, actualmente se sabe que se debe principalmente a la acción mecánica de impactos rápidos a la manera de explosiones de las partículas de líquidos. Como estos impactos son periódicos (25.000 [c/s]) se produce un fenómeno vibratorio que aumenta la erosión del material por fatiga y puede también destruir los cojinetes. Para controlar este fenómeno: a) Se diseña la turbina contra la cavitación, b) se utiliza materiales resistente a la cavitación, aceros inoxidable (18% de cromo y 8% de níquel). Estos materiales se pueden reparar medianotes soldaduras.

Quando se opera una turbina por debajo del 40% de su carga nominal en forma continua esta tiende a cavitar.

Centrales Hidráulicas: Cavitación y abrasión

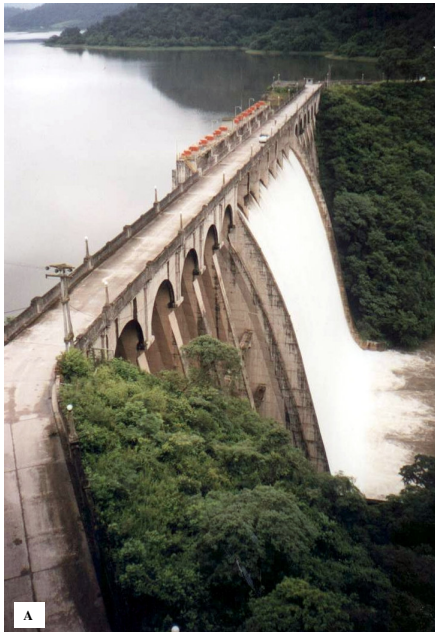
18



Anexo 1: C.H. Futaleufun, tubería puente de conducción



Anexo 3: C.H. Escaba, vista del cierre y aliviadero



A

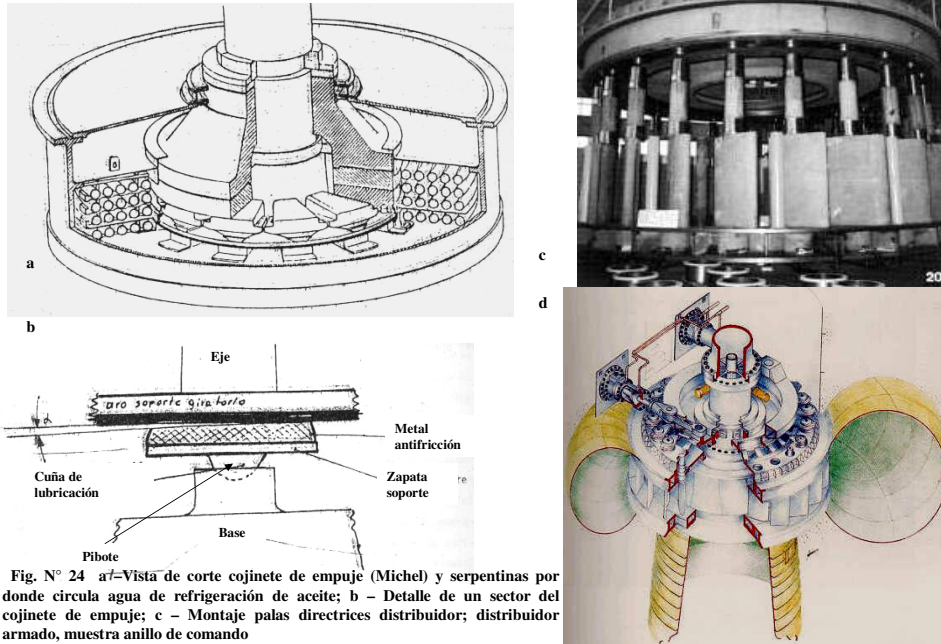


A - Vista del cierre de la presa, con aliviadero de coronación operando.

B - Vista del Cierre de la presa con el aliviadero fuera de operación

El cierre de la presa de C.H. Excava tiene 80m de altura, en el momento de su ejecución era el más alto de Sudamérica.

Centrales Hidráulicas: Elementos de turbinas 19



Anexo 4: C.H. Pueblo Viejo (de pelo libre o de paso o asud)



A - Asud o cierre para derivar el agua del río. B - Compuerta de toma construida en el Asud. C - Vista de tolba del desarenador. D - Canal de toma que conduce el agua a la central

Centrales Hidráulicas: Rodete fabricado en taller



Cono inferior y alabes nuevos soldados



Cono masa de rodete T. Francis



Prueba de fisuras superficiales con tinta penetrante



Rodete terminado a pie de maquina listo para montajes

COMPARACION ENTRE CENTRALES TÉRMICAS E HIDROS

1.- CENTRALES TERMICAS: el plazo de ejecución de este tipo de central es relativamente bajo, pudiendo estimarse entre dos y tres años, la vida útil de las instalaciones oscila alrededor de los 20 ó 25 años. Poseen la ventaja de poderse ubicar normalmente cerca de los centros de consumo, lo que trae aparejado una disminución muy considerable de costos, por reducción de la longitud de las líneas de transmisión de energía. Tiene un elevado costo de explotación, por el consumo de combustible y además su costo de mantenimiento también es elevado. El costo de inversión, es sustancialmente menor que el de las Centrales Hidroeléctricas, pudiendo afirmarse que en líneas generales que resulta ser la tercera parte

El período de construcción es menor sustancialmente que el de las hidroeléctricas. Deben ubicarse cerca de ríos que permitan el abastecimiento del agua de refrigeración.-

2.- CENTRALES HIDRÁULICAS: En contraposición con lo precedentemente expresado, las centrales hidroeléctricas, se caracterizan por: elevado período de construcción alrededor de los 6 años, con un gran costo de inversión inicial, por la gran envergadura de las obras hidráulicas (dique, canales, etc.) que se deben realizar; su vida útil es sustancialmente superior, alrededor de los 40 años, su gasto de explotación son mínimos dado que no consume combustible. Se encuentran condicionadas en potencias, a las condiciones naturales del aprovechamiento, es decir al salto y caudal, en cambio la potencia de las Centrales Térmicas, prácticamente no tiene limitación. Normalmente se encuentran ubicadas lejos de los grandes centros de consumo (El Chocón-Buenos Aires, El Nihuil-Mendoza), lo que exige una ejecución de grandes sistemas de transmisión que abultan la inversión inicial. Debemos hacer resaltar que además de generarse energía con un aprovechamiento se regula el río, optimizando el riego, se evitan crecidas y se asegura el agua potable y de uso industrial.-

La experiencia demuestra que, efectuándose un balance de la vida útil de los dos tipos de centrales, resulta más conveniente la hidroeléctrica, es decir el costo del Kwh. generado, promedio en su vida útil, es menor para las hidráulicas que para las térmicas. Sin embargo, no debemos olvidar que se encuentran sujetas a variaciones climáticas que pueden reducir considerablemente su producción (sequías).

Por todo lo expuesto, es aconsejable en cualquier sistema de energía complementar las Centrales Hidroeléctricas con una adecuada instalación de generación térmica. De este modo se podrá atender con rapidez, los incrementos de demandas y el costo promedio de generación del sistema tendrá un costo aceptable. Además debemos tener presente que los recursos de capital con los que disponen los distintos países son limitados, y en consecuencia, dichos recursos no podrían atender la totalidad de la inversión, tendiente a satisfacer los incrementos de la demanda, que en definitiva, se van a traducir en un mayor desarrollo industrial.