

Memoria

de

una

Central Hidráulica

1.- Conceptos generales sobre centrales hidráulicas.

1.1.- Introducción.

Inicio el estudio de las *centrales eléctricas*. Pero antes, y para evitar confusiones, definiremos el concepto de Central eléctrica y otros conceptos relacionados con las centrales eléctricas, para lo que utilizaremos las definiciones expresadas en el Vocabulario Electrotécnico Internacional.

Llamaremos *central eléctrica* al conjunto de maquinas motrices generadores, aparatos de maniobra y protección etc... que sirven para la producción de energía eléctrica. En realidad, el nombre de central eléctrica, es la abreviación de *central generadora de energía eléctrica* lo que hay que tener en cuenta para evitar confusiones con otros conceptos relacionados.

La central eléctrica se denomina *Central térmica* cuando la energía eléctrica se produce por medio de máquinas motrices térmicas (turbinas de vapor, motores Diesel, etc.), *central hidráulica* cuando las maquinas motrices son turbinas hidráulicas y *central nuclear* cuando se aprovecha la energía existente en los núcleos atómicos de ciertos cuerpos.

Se llama *subcentral eléctrica* y, también, *subestacion eléctrica*, al conjunto de aparatos y dispositivos de transformación, conversión y distribución de energía eléctrica, instalados en un edificio o al aire libre y cuya misión es alimentar una red eléctrica.

Entre las subestaciones eléctricas, distinguiremos:

1. *Subestacion transformadora*. Destinada a transformar la co-rriente alterna de una tensión determinada, en corriente alterna de otra tensión diferente.

2. *Subestación convertidora* Destinada a convertir la corriente alterna en corriente continua, o viceversa.

3' *Subestación distribuidora* Como su nombre indica, destinada a distribuir la energía eléctrica sin modificar sus características.

1.2.- Tráficos de carga.

Las centrales eléctricas están destinadas a alimentar diversos re-ceptores eléctricos (alumbrado, motores, hornos, etc.). Del número y presencia de estos receptores que en un momento dado, estén conec-tados en un momento dado, estén conectad-os a la red, dependerá la potencia que deba proporcionar la central eléctrica para cubrir la demanda. Pero sucede que esta demanda de energía eléctrica es variable en cada época del año, en cada día del año y, dentro de cada día, es variable también a las distintas horas día.

1.3.- Características de carga de una central eléctrica.

Voy a definir y estudiar algunos conceptos relacionados con la carga que puede suministrar una central eléctrica y con la demanda de energía de los consumidores.

Estos conceptos son :

- Potencia instalada.
- Factor de carga.
- Factor de demanda.
- Factor de instalación.
- Utilización anual.
- Factor de utilización.
- Factor de reserva.

– Potencia instalada.

Es la suma total de las potencias nominales de todos los receptores de energía conectados con la red que alimenta la central. Se la llama también carga instalada.

– Factor de carga.

Para tener una medida que indique la naturaleza de la carga instalada, se introduce el denominado *factor de carga*, definido como la relación de la potencia media a la potencia máxima de punta, es decir.

Potencia media en KVA

$m = \frac{\text{Potencia media en KVA}}{\text{Potencia máxima en KVA}}$

Potencia máxima en KVA

Para una central eléctrica resulta desfavorable que el factor de m sea pequeño puesto que ello indica que, a pesar de tener que destruirse la central para la potencia de punta $P_{\max}$ no suministra mas un pequeño porcentaje de este valor, de forma que la central desaprovecha durante casi todo el día sus posibilidades, ya que la punta de intensidad solamente se precisa durante breves periodos de tiempo.

Cuando la central es de pequeña potencia, para aumentar el valor del m , lo que se hace es disponer un generador principal, un grupo de generadores, que cubra los periodos de carga pequeña normal, y uno o varios generadores auxiliares que entran en funcionamiento durante las horas de máxima demanda de energía.

Cuando la central es de gran potencia o se trata de varias centrales que sobre una misma red, se disponen centrales auxiliares cuya misión es, exclusivamente, cubrir la demanda de energía en las horas punta.

– Factor de demanda

La relación entre la demanda máxima de un sistema y la potencia instalada o sea :

Demanda máxima en KVA

$a = \frac{\text{Demanda máxima en KVA}}{\text{Potencia instalada en KVA}}$

Potencia instalada en KVA

Generalmente esta relación oscila entre 0.2 para instalaciones de pequeña potencia y 0.5 para instalaciones de

gran potencia.

– Factor de instalación

Esta relacionado con el anterior, ya que una central eléctrica determinada, se proyecta para suministrar una demanda determinada. El factor de instalación es la relación entre la potencia total de la central y la potencia conectada a la red alimentada por dicha central, es decir.

Potencia total de la central en KVA

b = -----

Potencia instalada en KVA

Para aclarar los conceptos de factor de demanda y factor de instalación, voy a poner un ejemplo. Supongamos un edificio que contiene 500 lamparas de 100W ; la potencia instalada será :

$$500 \times 100 = 50000 \text{ W}$$

Naturalmente, nunca estarán todas las lamparas conectadas en funcionamiento ; si el numero máximo de lamparas conectadas es de 120 la demanda será :

$$120 \times 100 = 12000 \text{ W}$$

y el factor de demanda

$$12000$$

$$a = \text{-----} = 0.24$$

$$50000$$

Ahora supongamos que para suministrar la energía eléctrica necesaria, disponemos de un grupo electrógeno cuya potencia es de 20 KW. El factor de instalación distinto del factor de demanda pero evidentemente relacionado con el será :

$$20000$$

$$b = \text{-----} = 0.4$$

$$50000$$

En la práctica el factor de instalación adopta los siguientes valores :

Para pequeñas instalaciones (hasta unos 5000 habitantes).....b = 0,2 a 0,3

Para poblaciones hasta unos 20.000 habitantes.....b= 0,3 a 0,35

Para centrales agrícolas.....b = 0,25 a 0,28

Para grandes centrales.....b = 0,4 a 0,5

Al factor de instalación se le conoce también con el nombre de factor de simultaneidad..

– Utilización anual

Es el número de horas anuales que debería trabajar la instalación plena carga, para que la energía producida fuese igual a la que la central produce en un año, trabajando a carga variable.

Un ejemplo bastará para aclarar esta definición. Si una central 2000 kw de potencia, ha producido en un año 7.000.000 kw-h, con las variables, que dependen de diversas causas (por ejemplo, la anda de los consumidores), la utilización anual de esta central.

7000000

----- = 3500 horas

2000

los que quiere decir que, para suministrar esa energía hubiera debido trabajar 3.500 horas al año. La utilización anual se denomina también *duración de aprovechamiento* y en la práctica, alcanza estos valores :

Para suministros a pequeñas ciudades.....1200 a 2000 horas

Para suministros a grandes ciudades.....2000 a 3500 horas

Para grandes suministros (regionales)3500 a 5000 horas

Eventualmente, estos valores pueden aumentar.

– Factor de utilización.

La relación entre el numero de horas de utilización anual y el numero total de horas del año.

Numero de horas de utilización anual

c = -----

Numero total de horas del año

En el ejemplo expuesto en el párrafo anterior, tendremos.

Numero total del año $365 \times 24 = 8760$

Numero de horas de utilización anual = 3500

3500

c = ----- = 0.4

8760

En la práctica para la determinación de la energía suministrada por un central durante un año, podemos adoptar estos valores para el factor de utilización :

Para suministros a pequeñas ciudades.....c = 0,15 a 0,25

Para suministros a grandes ciudades..... c = 0,25 a 0,4

Para grandes suministros (regiones)..... c = 0,4 a 0,55

– Factor de reserva.

No basta con construir una central para la máxima punta de potencia que aparezca durante el año. Un grupo de generadores puede quedar parado, por avería o por inspección. Por lo tanto, hay que disponer una reserva de maquinas que sustituya a las que han quedado fuera de servicio. Lo que, quiere decir que la potencia total de la central ha de ser mayor que la potencia máxima para la que ha sido proyectada..

Este hecho se expresa por medio del *factor de reserva* que es la relación entre la potencia total de la central y la potencia máxima que ha de suministrar, o sea :

Potencia total de la central en KVA

d = -----

Potencia máxima de la central en KVA

El factor de reserva es siempre mayor que la unidad y, en la práctica, alcanza estos valores :

Para pequeñas instalaciones y pueblos..... d = 1,3 a 1,6

Para poblaciones medias..... d = 1,6 a 1,75

Para centrales agrícolas.....d = 1,6 a 1,7

Para grandes ciudades.....d = 1,8 a 2

En muchas ocasiones, no es necesario que cada central tenga su propia reserva. Si varias centrales están interconectadas entre sí, pod-emos hacer que una de ellas trabaje sin reserva, suponiendo que en caso de avería en sus generadores, la potencia que falta será suministrada por las otras centrales interconectadas.

1.-4.- Tipos de centrales eléctricas

Según el servicio que hayan de prestar las centrales eléctricas se pueden clasificar en:

– Centrales de base, destinadas a suministrar la mayor parte de la energía eléctrica, de forma continua. Estas centrales llamadas también *centrales principales*, son de gran potencia y utilizan generalmente como máquinas motrices las turbinas de vapor, turbinas de gas y turbinas hidráulicas.

– Centrales de puntas, *exclusivamente* proyectadas para cubrir las demandas de energía eléctrica en las horas – punta; en dichas horas – punta, se ponen en marcha y trabajan en paralelo con la central principal. Si la central de base es de pequeña po-tencia, se utilizan grupos electrógenos cuya máquina motriz es un motor de explosión; si la central de base es mayor, se uti-lizan generalmente pequeñas con motores Diesel.

– Centrales de reserva, que tienen por objeto sustituir total o parcialmente a las centrales hidráulica de base en casos de escasez de agua o avería en algún elemento del sistema eléctrico. No deben confundirse con las centrales de puntas, anteriormente citada, ya que el funcionamiento de las centrales de puntas es periódico (es

decir, todos los días a ciertas horas) mientras que el de las centrales de reserva es intermitente. Como centrales de *reserva* se utilizan, normalmente, centrales térmicas cuyas máquinas motrices son turbinas de vapor y, en instalaciones de pequeña potencia, motores Diesel.

– Centrales de socorro, tienen igual cometido que las centrales de reserva citadas anteriormente; pero la instalación del conjunto de aparatos y máquinas que constituyen la central de reserva, es fija, mientras que las centrales de socorro son móviles y pueden desplazarse al lugar donde sean necesarios sus servicios. Estas centrales son de pequeña potencia y generalmente accionadas por motores Diesel; se instalan en vagones de ferrocarril o en barcos especialmente diseñados y acondicionados para esta misión.

– Centrales de acumulación o de bombeo que son siempre hidroeléctricas. Se aprovecha el sobrante de potencia de una central hidroeléctrica en las horas de pequeña demanda, para elevar agua de un río o de un lago hasta un depósito, mediante bombas centrífugas accionadas por los alternadores de la central, que se utilizan como motores. En los periodos de gran demanda de energía, los alternadores trabajan como generadores accionados por las turbinas que utilizan el agua previamente elevada anteriormente.

1.5.– Suministro de energía eléctrica

Casi todo el suministro de energía eléctrica que se efectúa en la actualidad es corriente alterna trifásica a 50 Hz. Las otras clases de corriente solamente se utilizan en casos excepcionales. Por ejemplo, la corriente continua apenas se produce ya directamente, sino que se obtiene en subcentrales convertidoras, a partir de la corriente trifásica. En nuestras explicaciones y mientras no digamos expresamente lo contrario, nos referimos a la corriente alterna trifásica, a 50 Hz.

Para indicar los más importantes elementos de suministro y distribución eléctricos, utilizaremos normalmente el kilovoltio (abreviado kv), como unidad de tensión, recordando que :

$$1 \text{ KV} = 1000 \text{ V}$$

Para pequeños abonados e industriales, la distribución de energía eléctrica se efectúa generalmente a la tensión de 127/220 V

2.– Constitución general de una central hidráulica

2.1.– Generalidades.

El agua que corre sobre la superficie de la tierra en los ríos, tiene una energía cinética que gasta venciendo los obstáculos que se oponen a su libre curso, y, de esta forma desarrolla calor, transporta materiales, erosión los márgenes y el fondo, etc... 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 anular totalmente esta rugosidad pero puede disminuirse y como consecuencia, el mismo caudal de agua podría circular con menor pendiente. De esta forma que podría derivarse la corriente de agua por 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 podríamos pasar este canal de agua por máquinas motrices hidráulicas que transformaran la energía potencial del agua en energía actual devolviendo después el agua al río. De esta manera habríamos conseguido un salto de agua (es decir, un desnivel), con *canal de derivación*.

También se puede obtener este desnivel, elevando el nivel del agua por atajamiento de la corriente mediante una *presa* o *azud*. En este caso aguas arriba del 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 necesaria obtener dicha velocidad es menor que la que tenía la corriente. pendiente superficial va aumentando

a medida que, aguas arriba, resulta menor la sección en contacto con el agua y de esta manera se forma una *curva de remanso*, que se enlaza tangencialmente con la superficie de las aguas en la parte del cauce no afectada por el remanso. Por consiguiente, se produce un nuevo régimen para la corriente, que permite formar un *salto de agua* aprovechable junto a la presa.

Entre las dos soluciones citadas (canal de derivación y presa) caben soluciones mixtas que son las más utilizadas: se ataja el río con una presa que embalse las aguas, las cuales se derivan, junto a esa, con un canal que se prolonga hasta el punto conveniente en que se sitúa la central, es decir, las turbinas hidráulicas y los generadores por ellas accionados. De esta forma, el salto de agua se obtiene en parte por la elevación del nivel de agua en la presa y en por la menor pendiente del canal respecto al cauce.

Indudablemente, el aprovechamiento de la energía hidráulica, no hubiera sido posible sin la turbina; pero este aprovechamiento hubiera sido muy limitado sin la conversión de la energía mecánica turbina, en energía eléctrica que, como sabemos, puede transmitirse a largas distancias. Esta característica de la energía eléctrica permitido aumentar el radio de acción de los aprovechamientos hidroeléctricos. Antes, siendo muy limitada la capacidad de consumo dentro de la limitada distancia de transporte, las instalaciones hidroeléctricas eran de escasa potencia. Actualmente, sin la limitación indicada, la tendencia es a realizar grandes aprovechamientos *embalses de cabecera*, que determina la regulación anual del río y *depósitos reguladores*, situados en lugares apropiados, con los que se consigue la regulación diaria o semanal. En conjunto, se pretende el *aprovechamiento integral* de un río o de una cuenca completa (es decir, un río y todos sus afluentes), mediante sucesivos saltos de agua, contruidos en los lugares más apropiados (por ejemplo en los sitios de mayor desnivel, o cuando el cauce es angosto y elevado porque entonces la presa resulta más económica de construir, etc...).

2.2.- Clasificación de las centrales hidráulicas.

Los tipos de centrales son variadisimos ya que en todos los casos, la construcción de una central hidráulica debe subordinarse a la especial situación del río, embalse, etc... cuya energía se pretende aprovechar. De todas maneras, las centrales hidráulicas pueden clasificarse en

1.- *Centrales de alta presión*: Alturas de salto hidráulica superiores a los 200 m. Como máquinas motrices se utilizan, generalmente, turbinas Pelton o, para los saltos de menor altura, turbinas Francis lentas.

2.- *Centrales de media presión*: Alturas de salto hidráulica comprendidas entre 20 y 200 m. Las máquinas motrices empleadas son las turbinas Francis medias y rápidas, correspondiendo estas últimas a los saltos de menor altura, dentro de los límites indicados.

3.- *Centrales de baja presión*. Alturas de salto hidráulica, inferiores a 20 m. Es la zona de utilización de las turbinas Francis extra-rápidas, de las turbinas de hélice y, sobre todo, de las turbinas Kaplan.

Las centrales hidráulicas también se clasifican como sigue:

a) *Centrales de agua corriente*

b) *Centrales de agua embalsada*

Las centrales de agua corriente se construyen en los sitios en que la energía hidráulica disponible puede utilizarse directamente para accionar las turbinas de tal formas que de no existir la, central esta energía hidráulica se desperdiciaría. Como sabemos, el caudal de un río es variable en las diferentes estaciones del año ; además, en muchos casos, hay que contar con años de sequía y años con abundancia de agua. La central de agua corriente puede construirse para el mínimo disponible de caudal pero entonces, en las épocas con abundante caudal, el exceso es desaprovechado; también puede construirse para el caudal máximo y, en este

caso, en las épocas de escasez de agua la central trabaja con poca carga y, por lo tanto,

con poco rendimiento.

La solución más económica, y la que se emplea actualmente es una solución media entre los dos extremos citados. En las centrales embalsadas se consigue un embalse artificial o pantano, en el cual se acumula el agua, que podemos aprovechar en la central, según las necesidades. El embalse se consigue, actualmente, por medio de una presa situada en lugares apropiados del río (por ejemplo, en sitios angostos y de márgenes rocosos).

2.3.- Disposición general de una central hidráulica.

Ya he dicho que para la formación de un salto de agua es preciso elevar el nivel superficial de ésta 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, derivando 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 a las turbinas y, para ello, en los saltos menores de unos 12 m, el agua desemboca directamente en la *cámara de turbinas* y, en los saltos superiores a 12 m, termina en un ensanchamiento llamado *cámara de presión* desde donde parte la *tubería a presión* que en conducción forzada, lleva el agua a las turbinas. A la salida de las turbinas, el agua pasa a un *canal de desagüe* por el que desemboca nuevamente en el río. Esto en términos generales; pero existen numerosas variantes de esta disposición, de las que vamos a estudiar a continuación las más utilizadas en la práctica, citando ejemplos de centrales ya construidas.

2.4.- Aprovechamiento hidroeléctrico de un río en uno o en varios escalones.

En un largo tramo 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 la maquinaria, la solución más económica es casi siempre la de sola una central. Pero, para que resulte también la economía en gastos de explotación y financiación, es necesario que el mercado de consumo esté en disposición para utilizar en breve tiempo toda o la mayor parte de la energía que es capaz de producir el aprovechamiento hidroeléctrico.

Si esta utilización tardase en conseguirse bastantes años los gastos de construcción, conservación, explotación y amortización gravarían la energía utilizada haciéndola antieconómica y en estos casos es preferible construir sucesivos escalones a medida que las necesidades del consumo así lo exigieran.

3.- Elementos de una central hidráulica.

3.1.- Generalidades.

A continuación estudio con algún detalle, los elementos constructivos que constituyen una central hidráulica ; estos elementos son :

- 1.- Presa.
- 2.- Canal de derivación.
- 3.- Tubería de presión.
- 4.- Compuertas.
- 5.- Accionamiento de la compuertas

6.- Organos de obturación (válvulas)

7.- Cámara de turbinas.

8.- Tubo de aspiración.

9.- Canal de desagüe.

10.- Casa de máquinas.

1.- Presa.

Se llama *presa* en general a una construcción que se levanta en el lecho del río para atajar el agua, produciendo una elevación de su nivel que permite la derivación de ella, o bien para almacenar el agua regulando el caudal del río.

Por el objeto para que están construidas, las presas se dividen en dos grandes grupos:

1.- Presas de derivación.

2.- Presas de embalse

1.- *Presas de derivación*, llamadas también *azudes* y *presas de vertedero* están dispuestas, preferentemente, para elevar el nivel del contribuyendo a crear el salto y siendo efecto secundario el almacenamiento del agua cuando lo requieran las necesidades de consumo Normalmente, están dispuestas para que el agua vierta por a de ellas mediante *vertederos* denominados también aliviaderos de coronación.

Por el contrario, el objeto preferente de las *presas de embalse* es el almacenamiento de agua para regular el caudal del río, siendo de efecto secundario la elevación del nivel del agua para producir de salto Por lo general, no están dispuestas para que las aguas viertan por encima, sino que tienen construcciones laterales, denominados *aliviaderos de superficie* que sirve para devolver el agua excedente al cauce aguas abajo de la presa, cuando se ha llenado el embalse.

En realidad, las presas tienen casi siempre una función mixta; se denominarán presas de derivación, o, en su caso, presas de embalse si el efecto predominante es la elevación del nivel de agua para su desviación o, por el contrario, el embalse del agua para tener siempre un caudal disponible.

2.- Canal de derivación.

El *canal de derivación* se utiliza para conducir el agua desde la presa de derivación hasta las turbinas de la central. Cuando el salto es superior a unos 15 m conviene dar entrada a las aguas en la sala de turbinas por medio de tuberías forzadas y, para ello, debe preverse una *cámara de presión* donde termina el canal y comienza la tubería. En muchos casos, de los que hemos visto algunos ejemplos, se suprime el canal de derivación y las tuberías forzadas se aplican directamente a las tomas de agua de la presa.

Por lo general, y para evitar filtraciones en el terreno, los canales de derivación están revestidos interiormente de mampostería, hormigón en masa u hormigón armado. Los canales pueden realizarse *en desmonte*, es decir excavando el terreno, solución que es la más segura a efectos de la estabilidad y de la aminoración de filtraciones, a *a media ladera*, o sea excavando la ladera por un lado y disponiendo un terraplén al otro lado y, finalmente, *en terraplén*, es decir, con obra de fábrica a ambos lados, solución a la que se recurre sólo excepcionalmente porque es la más costosa y porque, para que la estabilidad tenga las debidas condiciones, debe consolidarse por medio de contrafuertes, cimientos, etc...

En algunas ocasiones se recurre al canal *en túnel* que no debe confundirse con la galería de presión de las que hablaremos más adelante, ya que en estas últimas la conducción de agua es a presión, mientras que en los canales en túnel, el agua se desplaza por el propio desnivel del terreno, sin carga hidráulica.

Conocidos el principio y el final del canal, claro está que la solución en línea recta es la que daría menos desarrollo y menos pérdida de salto. Pero esta solución ideal casi nunca es posible, porque hay que salvar los accidentes del terreno y deben evitarse, en lo posible los canales en terraplén que resultan mucho más caros de construcción. Lo que se hace normalmente, es ajustar el canal a la línea de pendiente del terreno que sea igual a la pendiente elegida para el canal y desplazar el trazado lateral lo que convenga para que, yendo en desmonte casi siempre, obligue a un volumen lo más reducido posible de movimientos de tierra.

En el origen del canal se dispone un conjunto de obras denominado bocal, que permite el ingreso de las aguas en dicho canal. Se denomina regulador a la disposición de cierre, cerca del comienzo del canal con la que puede regularse el paso de las aguas dentro de las posibilidades de su capacidad; por ejemplo, durante las riadas, hay que restringir la sección de paso de aguas del regulador para que no se eleve excesivamente el nivel de ellas en el canal.

Esencialmente, el regulador es una estructura de obra de fábrica con compuertas elevables y abatibles en número y disposición adecuadas para que sus movimientos se realicen con seguridad y rapidez.

Muchas veces, el bocal y el regulador constituyen un solo conjunto constructivo ; otras veces, quedan separados.

Antes de comenzar el estudio de las tuberías de presión, conviene definir lo que es el *golpe de ariete*, y los procedimientos 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, ocasionada por bruscas fluctuaciones del caudal.

Cuando la carga de trabajo que sirve la turbina, disminuye bruscamente, el regulador automático de la turbina cierra la admisión de agua, y los efectos de inercia de ésta provocan un golpe de ariete *positivo*, es decir, una sobrepresión brusca, especialmente en la parte de la tubería situada junto a la cámara de presión de la turbina. Cuando aumenta la carga de la turbina demanda más agua y el regulador abre la admisión provocando un golpe de inercia negativo o sea, una depresión brusca en la tubería, sobre todo, cerca de la cámara de presión de la turbina.

En las tuberías a presión de gran longitud, los efectos del golpe de ariete pueden ser importantes y, además, en estas tuberías tarda más tiempo que en las de corta longitud en acelerarse o decelerarse lo necesario para acoplar la velocidad del agua al nuevo régimen de carga que precisan las turbinas.

Para evitar estos inconvenientes se disponen en estas tuberías *depósitos de compensación*, llamados generalmente *chimeneas de equilibrio*.

Una chimenea de equilibrio es, en esencia, un pozo vertical o inclinado abierto por la parte superior situado en el trayecto de la tubería lo más cerca posible de las turbinas. 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 su nivel, produciéndose una deceleración del agua en la tubería. El contrario, cuando se produce un golpe de ariete negativo, baja el nivel de agua en la chimenea, originándose una aceleración del agua en la tubería. Es decir, que la chimenea de equilibrio actúa como muelle mecánico, evitando las variaciones bruscas de presión, o ~o un condensador en un circuito eléctrico, que impide las variaciones bruscas de tensión en dicho circuito.

3.- Tuberías de presión

En las instalaciones hidroeléctricas, las *tuberías de presión* o *tuberías forzadas*, tienen por objeto conducir el agua desde la cámara de presión a las turbinas cuando, por causa de la altura del salto, se precisa tal disposición para transformar la energía potencial de posición que tiene el agua en la cámara de presión, en energía potencial presión, que tiene junto a la turbina y al final de la conducción forzada. Ya he indicado en un párrafo anterior que para alturas salto inferiores a unos 15 m, bastaba con un canal sin carga de presión; cuando la altura de salto es superior al límite citado, deben emplearse conducciones forzadas.

En lo que se refiere a los materiales empleados para la construcción de la tubería, los más empleados son:

1. Palastro.
2. Uralita.
3. Hormigón armado.
4. Hormigón precomprimido.
5. Galerías de presión.

Las *tuberías de presión de palastro*, son muy empleadas pues pueden adaptarse fácilmente a las más altas presiones. Son más utilizadas las tuberías de palastro de acero que las de hierro, ya que las primeras tienen mayor resistencia y resultan más económicas que las de hierro. Los tubos se forman arrollando chapas rectangulares de palastro, a las que se da forma cilíndrica uniéndolas longitudinalmente los bordes de estas chapas.

Las virolas así obtenidas se anclan por medio de uniones en el sentido transversal. Tanto las uniones longitudinales como las transversales pueden hacerse por roblonado o por soldadura; en las uniones transversales solamente se utilizan bridas cuando se trata de interponer en la tubería piezas especiales, tales como válvulas, iotas, etc... Generalmente, se montan al aire y apoyadas sobre macizos, casi siempre de hormigón en masa. En los puntos de cambio de rasante y de cambio de alineación se establecen apoyos fijos denominados anclajes y constituidos, por un macizo de hormigón reforzado interiormente por una estructura metálica. Algunas veces, se refuerzan las tuberías metálicas, por diversos procedimientos; estos refuerzos aumentan la resistencia de la tubería cuando se llega a un diámetro determinado que no conviene reducir para no aumentar excesivamente la velocidad del agua y los golpes de ariete.

Las *tuberías de uralita* (amianto – cemento) se emplean saltos de poca potencia y alturas hasta 150 m; han dado resultados y por su baratura, son muy recomendables, dentro claro está de los límites anteriormente citados los tubos se construyen en longitudes de 4 m y se unen entre sí por medio de juntas adecuadas que mantienen la estanquidad por medio de aros de goma vulcanizada. Generalmente se montan enterradas en zanjas.

Las *tuberías de hormigón armado*, se utilizan en casos de gran caudal y alturas de salto hasta unos 40 metros, cuando por las circunstancias de costo de adquisición y transporte de la tubería, resulta más económica la de hormigón.

Las tuberías de hormigón armado están constituidas por espiras de hierro, que hacen de directrices y por varillas de reparto que son las generatrices, fundidas ambas armaduras en hormigón hidráulico. Las tuberías de gran diámetro se fabrican sobre el terreno y las de pequeño diámetro pueden fabricarse fuera de él aunque, en este caso, conviene que la fabricación se realice cerca de la obra para reducir los gastos de transporte.

Estas tuberías van apoyadas en el terreno mediante una solera apropiada, generalmente enterradas o semienterradas, casi nunca al aire. La mitad inferior de la tubería, se soporta con una estructura de hormigón graso; la parte superior se recubre de tierra o, mejor aun, de hormigón en masa ordinario. Los tubos se unen entre sí mediante juntas especiales.

Las *tuberías de hormigón precomprimido* están constituidas por tubos de hormigón armado con una ligera armadura longitudinal de hierro, cuyo objeto es obtener una estructura resistente a los esfuerzos longitudinales que se presentan durante las maniobras de preparación. La presión hidráulica se resiste por medio de un hilo de acero arrollado en el tubo, lo que permite reducir notablemente el espesor del tubo sin que éste pierda resistencia. En tuberías de gran diámetro, que soportan elevadas presiones hidráulicas, generalmente, la hélice de acero se arrolla sobre una plancha de hierro que tiene por objeto la impermeabilización del tubo. Estas tuberías se montan en el terreno como las de hormigón armado corriente, es decir, enterradas ; las juntas de unión de los tubos han de ser especiales.

Las *galerías de presión* están directamente excavadas en la roca utilizan para unir el embalse con la chimenea de equilibrio, tal y como he explicado en un párrafo anterior. Se construyen con escasa pendiente de (1 a 1000) y, como la chimenea de equilibrio absorbe totalmente los golpes de ariete, la galería de presión solamente esta sometida a algo más de la presión debida a la altura del nivel del embalse.

4.- Compuertas.

Las compuertas se utilizan para cerrar las conducciones de agua (canales – tuberías), así como para regular el caudal de agua en dichas conducciones. En los aprovechamientos hidroeléctricos, las compuertas sitúan, como hemos visto, en las tomas de agua, en los desagües de fondo, en los canales de derivación, etc... Las compuertas utilizadas todos los sitios indicados, son de las mismas características constructivas; únicamente hay que tener en cuenta que las compuertas sometidas a grandes presiones (por ejemplo, en las tomas de agua) habrán de ser de construcción más robusta que las compuertas que o de resistir pequeñas presiones (por ejemplo, en los canales de derivación abiertos).

En los aprovechamientos hidroeléctricos, es frecuente cerrar los vanos de paso de agua por medio de tableros de forma rectangular que se apoyan, en la parte inferior, sobre un umbral de piedra, madera y hierro, y en las partes laterales, sobre ranuras, generalmente verticales. Estos tableros están contruidos de madera o de estructura acero laminado y al conjunto se le denomina compuerta deslizante; estas compuertas tienen apoyo continuo en todo su contorno sobre guarnición fija y son las que más garantías ofrecen de impermeabilidad. Resultan más económicas para bajas presiones y tamaños moderados pero requieren mayor esfuerzo para su movimiento que otros tipos de compuertas por lo que no se utilizan para grandes tamaños y presiones ya que el volumen y el coste de los mecanismos de accionamientos resultarían muy grandes. En las grandes compuertas se disponen en el tablero móvil, dispositivos de rodadura que permiten disminuir el esfuerzo necesario para el accionamiento de la compuerta

5.- Accionamiento de las compuertas.

Para elevar una compuerta es necesario un esfuerzo que ha de ser superior al peso propio de la compuerta y a los rozamientos originados por la presión hidráulica; en las compuertas de rodadura y de segmento, el peso propio es mayor que el rozamiento, producido por la presión hidráulica por lo que la acción de dicho peso propio basta para provocar el descenso de la compuerta. En otro caso, ha de preverse también un accionamiento.

Solamente las compuertas de pequeñas dimensiones pueden accionarse manualmente. Para ello, se utiliza un torno con eje de madera o hierro, accionado por dos manivelas y, muchas veces, provisto de engranajes. Otras veces se emplea un elevador de tornillo o husillo vertical.

Para las compuertas de mayor peso se utilizan varios dispositivos

a) cremallera con rueda sencilla o varias ruedas; el radio de la manivela es de 35 a 40 cm y el eje de giro se sitúa a 1 m aproximadamente del suelo de la pasarela. Si la anchura de las compuertas es superior a 1,5, se emplear dos cremalleras y el esfuerzo motor se aplica al centro de un eje sobre el que están montadas las ruedas de ambas compuertas.

b) cremallera con accionamiento de engranaje y tornillo sin fin.

c) torno de husillo horizontal.

Para las grandes compuertas como son, por ejemplo, las instaladas en los aliviaderos de coronación de las presas de embalse, se utilizan así exclusivamente dispositivos oleohidráulicos con servomotor, mandados por válvulas de gobierno manuales o eléctricas a distancia o, también, con mando totalmente automático. En caso de defectos tales como rotura de tuberías, embalamiento de las turbinas, etc... estos accionamientos están equipados con paro automático.

6.- Organos de obturación (Válvulas).

Los *órganos de obturación* denominados, en general, *válvulas*, se utilizan para abrir y cerrar el paso del agua por los conductos forzados. Según el empleo a que están destinados, los órganos de obturación pueden ser:

1.- *Organos de seccionamiento*, cuya misión es cerrar el paso del agua hacia las turbinas, cuando sea necesario.

2.- *Organos de seguridad*, que deben obturar el conducto, no solamente en el caso en que el caudal sobrepase el absorbido normalmente por la turbina, sino también, en caso de embalamiento de esta última. Estas válvulas están provistas, casi siempre, de dispositivos automáticos de cierre, que entran en acción cuando la velocidad del agua sobrepasa un valor máximo, fijado de antemano.

Los órganos de obturación están frecuentemente provistos de un dispositivo para el mando a distancia del cierre. El accionamiento de la válvula puede provocarse desde un lugar cualquiera, aunque el caso más frecuente es que se realice desde el cuadro de distribución de la central, actuando la corriente eléctrica sobre un electroimán o sobre pequeños motores que, a su vez, actúan sobre el mando principal de la válvula, por medio de contadores. Además, debe preverse el mando manual en la inmediata vecindad de la válvula por el contrario, la apertura a distancia de la válvula no es necesaria casi nunca, de forma que los órganos para la maniobra a distancia casi siempre se equipan solamente para el cierre.

En las instalaciones hidroeléctricas se encuentran muchos tipos de órganos de obturación, que cumplen además funciones muy diferentes. Nosotros estudiaremos solamente los más frecuentes que son:

1.- *Valvulas de compuerta*.

2.- *Válvulas de mariposa*.

3.- *Válvulas esféricas*.

La elección del tipo más apropiado depende de las dimensiones, de la forma de la sección que se ha de obturar, de la presión, de la necesidad de una regulación de apertura parcial, etc...

1.- Las *válvulas de compuerta*, como su nombre indica se accionan de la misma forma que una compuerta, es decir; por desplazamiento vertical de un tablero deslizante por unas guías. Las válvulas de compuerta se

utilizan en canales abiertos, para el vaciado de fondo en los embalses, etc...

2.- *Las válvulas de mariposa* se emplean especialmente como órganos de emergencia y de seguridad en el arranque de tuberías forzadas de centrales hidroeléctricas. En saltos de altura a media se adoptan también como órganos de cierre delante de las turbinas. En las válvulas de mariposa de pequeñas dimensiones, el accionamiento es manual: sea por volante o sea por contrapeso.

3.- *Las válvulas esféricas*. El principal inconveniente de las válvulas esféricas es que su cierre no es rápido, lo que puede ser fundamental en casos de emergencia se utilizan como órganos de seccionamiento y de seguridad y su accionamiento, como en los casos anteriores, puede ser manual o por servomotor.

7.- Cámara de turbinas.

Se denomina *cámara de turbinas* al espacio destinado en una central hidroeléctrica para el alojamiento de las turbinas hidráulicas. Al hablar de las máquinas motrices, ya se estudiaron las turbinas hidráulicas con suficiente detalle: características de funcionamiento, tipos de turbinas, normas para la elección del tipo de turbina más adecuado, etc... Para no repetir los conceptos ya estudiados, remitimos al lector a los apartados correspondientes; aquí explicaremos solamente algunos conceptos interesantes, relacionados con la situación de las turbinas dentro del conjunto de una central hidroeléctrica.

La cámara de turbinas puede ser *abierta*, si está en comunicación con el exterior, o *cerrada*, en el caso contrario.

La cámara abierta solamente se utiliza en saltos de pequeña altura (hasta unos 15 m), cuando es posible hacer llegar directamente al distribuidor de la turbina, el agua procedente del canal de derivación; en estos casos, la cámara de turbinas hace las veces también de cámara de presión. En las cámaras abiertas, se utilizan *turbinas de eje vertical* y *turbinas de eje horizontal*. En el primer caso, la cámara queda por debajo de la sala de máquinas y el nivel de aguas arriba queda también por debajo del piso de aquella. En segundo caso, la cámara queda situada contigua a la sala de máquinas y nivel de aguas arriba, por encima del piso de la sala de máquinas.

En cámara abierta, se utiliza la turbina de eje vertical cuando el salto es pequeño, inferior a unos 6 m, y, por lo tanto, no hay suficiente altura para instalar turbinas de eje horizontal, pues el piso quedaría muy cerca del nivel de aguas abajo y expuesto a quedar inundado; o bien, en ribera escapada, ya que las turbinas de eje horizontal necesitan más espacio en planta y, por lo tanto, en el caso citado resultarán más costosas de instalación. En los demás casos, resulta preferible el empleo de turbinas de eje horizontal.

Actualmente, en casi todos los saltos de agua, se utiliza turbinas en cámara cerrada, a la que afluye el agua procedente de las tuberías forzadas. Esta disposición, tiene la gran ventaja de que las tuberías pueden situarse en el lugar más conveniente, los efectos de cimentación, canal de desagüe, etc... ya que a la tubería de presión, que une la cámara de presión con las turbinas puede dársele el trazado y longitud más adecuados.

Se instalan turbinas de eje vertical en cámara cerrada, cuando el piso de la sala de máquinas no queda libre de peligro de inundación durante las máximas riadas.

También puede influir en esta elección, el coste de las obras, cuando haya de instalarse la central en una ladera escarpada, ya que la disposición vertical de las turbinas resulta mas económica que la disposición horizontal por el hecho de que la instalación de la turbina con eje vertical, esta situación relativa se desarrolla en vertical y necesita, por lo tanto, menos espacio en planta, por consiguiente menos obras de explanación. Generalmente en casi todas las instalaciones modernas con turbinas Francis o Kaplan ; se adoptan las turbinas de eje vertical con generador eléctrico directamente acoplado.

Para resumir todo lo dicho en el presente paragrafo veamos las ventajas e inconvenientes de las turbinas de eje vertical y de eje horizontal, tanto para cámaras abiertas como cerradas:

Turbinas de eje vertical.

Ventajas:

- a) posibilidad de montar los generadores por encima del nivel de agua, hasta la altura más conveniente, por pequeño que sea el salto.
- b) economía de instalación.

Inconvenientes:

- si la turbina ha de accionar un generador de eje horizontal, son necesarios engranajes de transmisión.
- las cargas verticales correspondientes a las maquinas han de ser sostenidas por un soporte

cojinete de empuje.

Turbinas de eje horizontal

Ventajas:

- a) Soportes cojinetes normales.
- b) transmisión directa a ejes horizontales.
- c) más fácil vigilancia porque todos los elementos están a la misma altura.

Inconvenientes:

- a) instalación de mayor extensión superficial, por lo tanto más caras
- b) el agua ha de reingresar al canal de desagüe a través de uno o más codos a 90°; por lo tanto, mayores pérdidas de carga.

8.- Tubo de aspiración.

El *tubo de aspiración* sirve de enlace entre la turbina y el desagüe y para aprovechar, además, el salto entre ambos elementos. Se cons-truye de hormigón o de chapa de acero y ha de tener una sección variable para conseguir la máxima recuperación de la energía cinética del agua a la salida del rodete de la turbina. En este mismo capítulo, hemos visto distintos modelos de tubos de aspiración.

En las turbinas Pelton no tiene importancia la recuperación de la energía existente a la descarga de la rueda y, además, entre el centro de la rueda y el nivel de agua del desagüe hay una distancia que re-presenta una proporción muy pequeña de la altura total del salto. Pero en los restantes tipos de turbina (Francis, hélice y Kaplan), la velocidad de salida del rodete es elevada y el rendimiento con descarga libre sería muy bajo, por lo que se precisa realizar la recuperación correspondiente a la velocidad de descarga.

El tubo debe ser lo más recto posible; pero cuando la instalación no lo permite sin gran coste de excavación, el tubo se encorva sua-vemente, desaguando horizontalmente, dando a la salida mayor di-mensión a la luz horizontal que a la vertical y abocinándolo gradual-mente para disminuir la velocidad residual.

En las turbinas rápidas al salir el agua, animada de un movimiento giratorio, en la dirección del eje del rodete, se produce remolinos en los cambios de dirección que reducen la sección de desagüe del tubo. Con objeto de evitar este inconveniente, que reduce el rendimiento global de la instalación, se disponen *hidroconos* ideados para las turbinas de eje vertical ; el más empleado es el hidrocono Moody.

9.- Canal de desagüe.

El canal *de desagüe* llamado también *socaz*, recoge el agua a la salida de la turbina para devolverla nuevamente al río en el punto conveniente. A la salida de las turbinas, el agua tiene todavía una velocidad importante y, por lo tanto, bastante poder erosivo y para evitar socavaciones del piso o paredes hay que revestir cuidadosamente el desemboque del agua de las turbinas.

En saltos. bajos, en que conviene perder poco desnivel, el canal de desagüe ha de ser corto. En saltos de gran altura y, especialmente en aquéllos en que el agua arrastra poco o ningún material sólido, el canal de desagüe puede ser de mayor longitud.

10.- Casa de máquinas.

En la *casa de máquinas* de una central hidroeléctrica, se montan los grupos eléctricos para la producción de la energía eléctrica, así como la maquinaria auxiliar necesaria para su funcionamiento. Como puede comprenderse, las disposiciones adoptadas para las casas de máquinas, son variadísimas y dependen de las circunstancias y condiciones del aprovechamiento hidroeléctrico.

Sin embargo, podemos intentar una primera clasificación de las centrales según la disposición general de la casa de máquinas en:

1.- Centrales al exterior.

2.- Centrales subterráneas.

Las *centrales al exterior* constan, esencialmente de una nave donde se instalan los grupos generadores y de uno o varios edificios adosados o anejos para la instalación de los transformadores, maquinaria auxiliar y aparatos de corte, protección y seguridad. Los edificios correspondientes se construyen, casi siempre, de hormigón en masa o armado, y a veces, de mampostería, piedra y ladrillo. Conviene que estas centrales estén lo más cerca posible del punto en que las aguas derivadas tengan que reingresar en el río aunque, debido a las condiciones del terreno, y a otras circunstancias, estas no sea siempre posible.

En los saltos obtenidos exclusivamente con las presas del embalse, lo más corriente es situar la casa de máquinas cerca de la presa y hacer la toma de agua desde ésta por tubería y a nivel suficientemente inferior al máximo del embalse, con objeto aprovechar el caudal almacenado en él para regular el consumo de energía de la central. Muchas veces, el edificio de la central forma conjunto con la presa.

Si la casa de máquinas no puede situarse en la inmediata cercanía de la presa, lo mejor, como he dicho anteriormente, es situarla de forma que el canal de desagüe sea de corta longitud. Esta es la disposición adoptada por ejemplo en la central de Saucelle, sobre el río Duero, perteneciente a IBERDUERO. Esta constituida por 4 turbinas Francis, de eje vertical y potencia unitaria de 86500 Cv que accionan otros tantos generadores de 75000 KVA. La casa de máquinas esta situada en la ladera del río Duero, habiéndose excavado parte de ella en la roca viva. Las tuberías forzadas que conducen el agua hasta las turbinas, tienen 5.7 m de diámetro.

