

## **Centrales Eléctricas**

Una central productora de energía es cualquier instalación que tenga como función transformar energía potencial en trabajo.

Las centrales eléctricas son las diferentes plantas encargadas de la producción de energía eléctrica y se sitúan, generalmente, en las cercanías de fuentes de energía básicas (ríos, yacimientos de carbón, etc.). También pueden ubicarse próximas a las grandes ciudades y zonas industriales, donde el consumo de energía es elevado.

Los generadores o alternadores son las máquinas encargadas de la obtención de la electricidad. Estas maquinarias son accionadas por motores primarios. El motor primario junto con el generador forman un conjunto denominado grupo.

### **Tipos de Centrales**

Los diferentes tipos de centrales eléctricas dependen de las distintas materias primas empleadas para obtener la energía eléctrica. Se diferencian en la energía potencial primaria que origina la transformación

#### **Hidráulicas o Hidroeléctricas**

El costo de construcción de estas centrales es elevado pero se compensan con los bajos gastos de explotación y mantenimiento luego la puesta en marcha de las mismas. Como consecuencia de esto, las centrales hidráulicas son las más rentables en comparación con los restantes tipos.

Estas centrales suelen ubicarse lejos de los grandes centros de consumo y el lugar de asentamiento de las mismas está condicionado por las características del terreno.

Las turbinas hidráulicas son accionadas por el agua como consecuencia de la energía cinética o a la de presión que ha desarrollado en su descenso. Anteriormente, el agua es retenida, encauzada y controlada.

Los modelos más relevantes de estas máquinas motrices son las turbinas Pelton, Francis, Kaplan y de hélice.

#### **Nucleares**

La producción de energía se logra mediante la transformación previa de la energía nuclear.

Un combustible nuclear, el uranio, y un reactor nuclear reemplazan a los combustibles y a la caldera de la central térmica. En el reactor tiene lugar la fisión del uranio (rotura en cadena de los núcleos de los átomos de este elemento químico), que al liberar una gran cantidad de energía origina el calor preciso para la obtención del vapor de agua.

Los tres combustibles fisionables conocidos son: uranio 235, plutonio 239 y uranio 233. El primero de estos combustibles es el único que se encuentra disponible en la naturaleza.

Las centrales nucleares o termonucleares utilizan las turbinas de vapor como máquinas motrices.

El reactor y los sistemas de instalación deben ser sometidos a una continua refrigeración, por lo tanto, la localización de estas centrales depende de la disponibilidad de caudales de agua de valor determinado y regular.

La presente demanda de energía puede ser satisfecha en forma suficiente con el rendimiento logrado por las centrales hidráulicas, térmicas y nucleares.

Las siguientes centrales presentan una serie de dificultades económicas y técnicas. Los rendimientos obtenidos con las mismas son bajos en comparación con las centrales anteriores. Estas centrales se construyeron con el propósito de aprovechar al máximo los recursos energéticos naturales, pero presentan un alto costo de construcción y una escasa prestación de energía eléctrica.

#### **Mareomotrices**

La energía eléctrica es consecuencia de la energía de las mareas. Parten del cambio de nivel periódico y las corrientes de agua de mares, océanos, lagos, etc.

Cuando la marea está alta, se retiene agua del mar en la zona de embalse; al bajar la marea, el agua retorna al mar a través de las máquinas, haciendo funcionar las mismas.

El conjunto de "máquina motriz – generador" se denomina grupo-bulbo y en su interior se ubican un generador, los equipos correspondientes y una hélice (turbina eléctrica del tipo Kaplan de eje horizontal o inclinado).

## **Geotérmicas**

Las altas temperaturas que existen en el interior del globo terráqueo producen un vapor natural a 200°C aproximadamente. Esta energía térmica acciona directamente las turbinas de vapor de las centrales geotérmicas.

El subsuelo terrestre es una reserva de energía prácticamente inagotable, pero es de difícil acceso y por lo tanto poco aprovechable.

## **Eólicas**

Estas centrales utilizan a los vientos o corrientes de aire para generar la energía eléctrica.

Su utilización se limita a situaciones especiales debido a que la obtención de energía eléctrica a través de estas centrales, tiene un elevado costo.

El viento puede ser aprovechado a partir de ciertas velocidades (mínima 6 m/s), solo en las centrales eólicas de un tamaño considerable.

Los aerogeneradores o turbinas eólicas son aquellas máquinas que superan algunas decenas de kW. Aún se desconoce la manera de regular la producción que estas máquinas aportan.

## **Solares o Heliotérmicas**

En un primer procedimiento, la energía luminosa y térmica proveniente del Sol en forma de radiación electromagnética es transformada en energía eléctrica mediante el empleo de células.

La irradiación solar equivale a 1 kW/m<sup>2</sup> siempre que el tiempo se encuentre despejado. La obtención de este tipo de energía es muy irregular, debido a que depende de las variaciones horarias y estacionales y de las modificaciones en la nubosidad.

## **Hidrotérmicas**

Estas centrales producen la energía a través del aprovechamiento de la energía térmica de grandes extensiones de agua.

El lugar de emplazamiento de estas centrales suele ser en los mares y océanos.

## **Térmicas**

El alimento de estas centrales está constituido por los distintos combustibles sólidos (carbón mineral); líquidos (gas-oil y fuel-oil, originados en la refinación del petróleo crudo); y gaseosos (gas natural).

La energía eléctrica surge como consecuencia de la energía térmica de combustión.

La proximidad a un yacimiento de carbón, o a una refinería de petróleo o a un grupo industrial son algunos de los condicionantes del lugar donde estas centrales pueden ubicarse.

El vapor de agua producido en una caldera posibilita el funcionamiento de las turbinas de vapor (máquinas motrices) al hacer girar el eje de dichas máquinas.

En el caso de que las turbinas sean accionadas por gas proveniente de la combustión del gas natural, gas de altos hornos o aceite de petróleo destilado, se trata de turbinas de gas.

## **Clasificación de las Centrales**

Las Centrales Eléctricas pueden clasificarse dependiendo del servicio que brinden:

### **Centrales de Base o Centrales Principales**

Su función es suministrar energía eléctrica en forma permanente; la instalación suele estar en marcha durante largos períodos de tiempo y no debe sufrir interrupciones de la instalación.

Este tipo de centrales se caracterizan por su alta potencia, y generalmente, se trata de centrales nucleares, térmicas e hidráulicas.

### **Centrales de Punta**

Estas centrales tiene como principal función cubrir la demanda de energía eléctrica cuando existen picos de consumo, o sea horas punta. Trabajan en espacios cortos de tiempo durante determinadas horas, su funcionamiento es periódico.

Debido a la capacidad de respuesta necesaria, generalmente suelen ser centrales hidráulicas o térmicas. Las centrales de punta sirven de apoyo a las centrales de base.

## Centrales de Reserva

El concepto de reserva económica implica la disponibilidad de instalaciones capaces de sustituir, total o parcialmente, a las centrales de base en las siguientes situaciones: escasez o falta de materias primas (agua, carbón, fuel-oil, etc.).

El concepto de reserva técnica comprende la programación de determinadas centrales para reemplazar a las centrales de producción elevada en el caso de fallas en sus maquinarias. Las centrales a las que se suele recurrir en esos casos son las hidráulicas o con turbinas de gas debido a la rápida capacidad de respuesta.

## Centrales de Socorro

Si bien tienen el mismo propósito que las centrales anteriores, se diferencian en que estas son pequeñas centrales autónomas y transportables en camiones, trenes o barcos.

Suelen ser accionadas por motores Diesel.

## Interpretación de Gráficos de Carga

El concepto de energía se encuentra ligado con los factores tiempo y potencia. Esta última es la energía provista durante un segundo (unidad de tiempo).

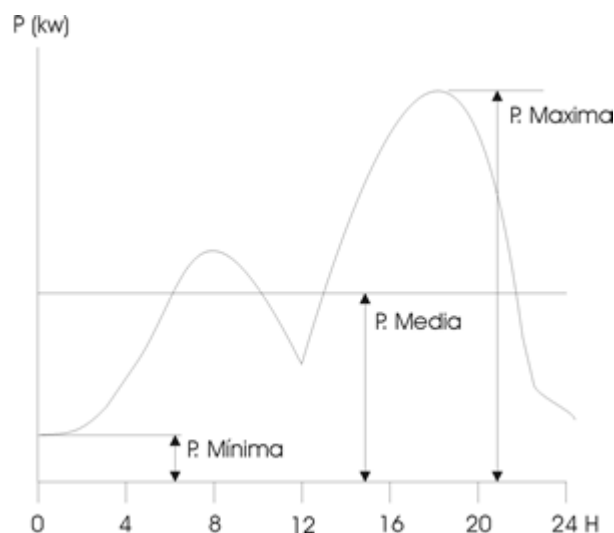
Se denomina carga de una central a la potencia que ésta brinda o le es solicitada en un momento determinado. El concepto energía producida se refiere a la cantidad de potencia aportada por el sistema de consumo durante un determinado número de unidades de tiempo.

El consumo de energía para un período determinado de tiempo en una zona de utilización dada, no es constante sino que presenta fuertes oscilaciones. Ese consumo se encuentra supeditado al número y potencia de los receptores conectados a la red.

El gráfico de cargas se obtiene graficando en el eje de las abscisas intervalos de tiempo, y en el de las ordenadas las sucesivas potencias requeridas a una instalación.

La superficie coloreada del gráfico representa la totalidad de la energía suministrada en el lapso de tiempo marcado.

El valor de potencia media que se observa en el gráfico se obtiene dividiendo el total de la energía suministrada por el tiempo en tuvo lugar ese suministro.



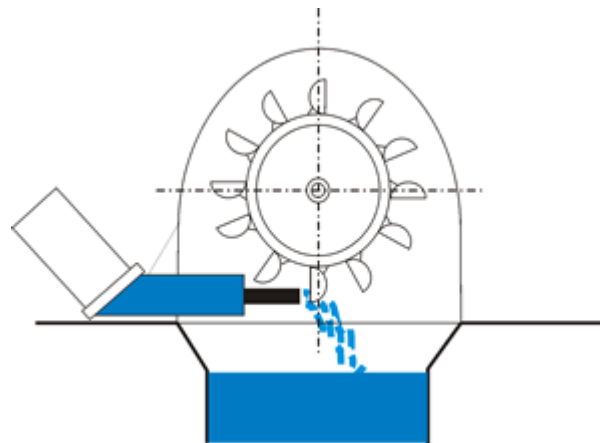
## Centrales Hidroeléctricas

El costo de construcción de estas centrales es elevado pero se compensan con los bajos gastos de explotación y mantenimiento luego la puesta en marcha de las mismas. Como consecuencia de esto, las centrales hidráulicas son las más rentables en comparación con los restantes tipos.

Estas centrales suelen ubicarse lejos de los grandes centros de consumo y el lugar de asentamiento de las mismas está condicionado por las características del terreno.

Las turbinas hidráulicas son accionadas por el agua como consecuencia de la energía cinética o a la de presión que ha desarrollado en su descenso. Anteriormente, el agua es retenida, encauzada y controlada.

Los modelos más relevantes de estas máquinas motrices son las turbinas Pelton, Francis, Kaplan y de hélice.



Esquema de una Turbina Pelton

## Clasificación de C. Hidroeléctricas

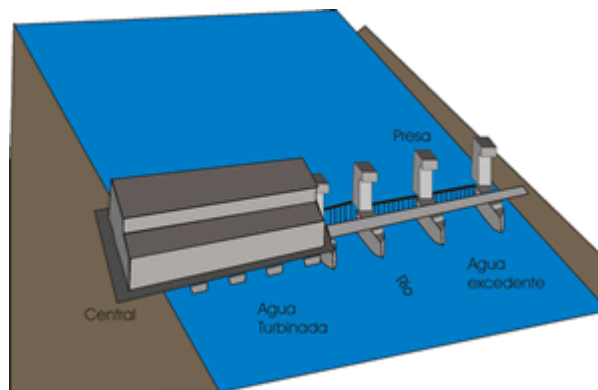
### Centrales de Pasada

Esta clase de centrales utiliza el agua mientras ésta fluye normalmente por el cauce de un río.

Se sitúan en los lugares en que la energía hidráulica ha de emplearse en el momento mismo que se tiene disposición de ella, con el fin de accionar las turbinas hidráulicas.

El caudal suministrado varía dependiendo de las estaciones del año. Cuando las precipitaciones son abundantes (temporada de aguas altas), estas centrales producen su máxima potencia y el agua excedente sigue de largo. En la temporada de aguas bajas, cuando el tiempo es seco, la potencia desarrollada disminuye notablemente.

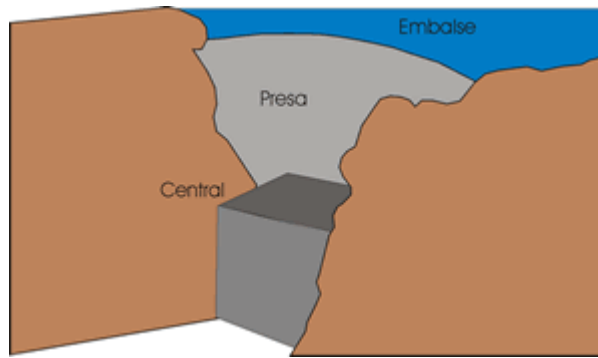
Generalmente son construidas formando presa sobre el cauce de los ríos, con el objetivo de mantener un desnivel constante en el caudal de agua.



### Centrales de agua embalsada

Estas centrales utilizan el agua que llega oportunamente regulada, desde un lago o pantano artificial, denominados embalses, logrados a partir de la construcción de presas.

Un embalse tiene la capacidad de hacinar los caudales de los ríos afluentes. El agua almacenada se utiliza mediante los conductos que la dirigen hacia las turbinas.



Se clasifican en :

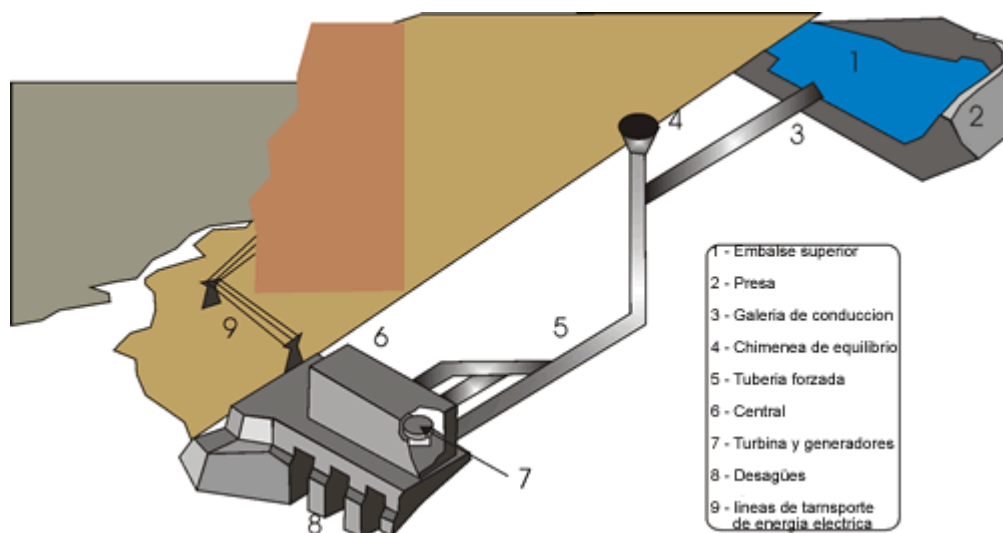
### Centrales de Regulación

Esta clase de central de embalse se caracteriza por los volúmenes de agua que son capaces de acumular en el embalse, los cuales representan períodos de aportes de caudales medios anuales, mas o menos duraderos.

Esta característica le da la posibilidad de asistir cuando los caudales se encuentran bajos, así como también cubrir eficientemente las horas punta de consumo.

### Centrales de Bombeo o Centrales de Acumulación

Son centrales de embalse que aglomeran caudales a través del bombeo.



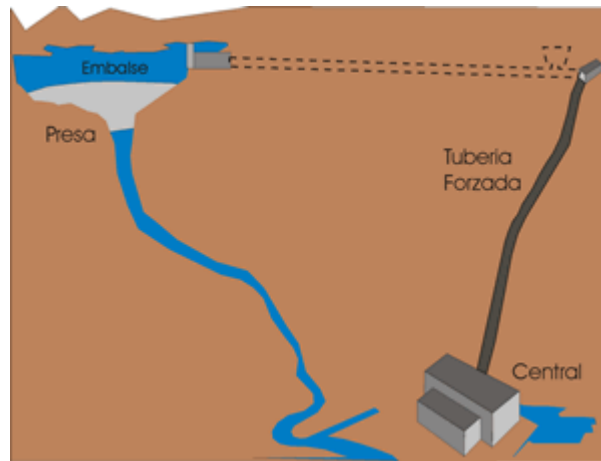
Según sea la altura del salto de agua existente, o desnivel, las centrales también pueden clasificarse en:

- **Centrales de alta presión**

Son aquellas centrales que tienen un valor de salto hidráulico mayor a los 200 m aproximadamente. Los caudales desalojados a través de estas centrales son pequeños, de solo  $20\text{m}^3/\text{s}$  por máquina.

El lugar de emplazamiento suele ser en zonas de alta montaña, debido que aprovechan el agua de torrentes que desemboca en los lagos naturales.

Estas centrales sólo emplean turbinas Pelton y turbinas Francis, las cuales reciben el agua mediante conductos de extensa longitud.



- **Centrales de media presión**

Los saltos hidráulicos que forman estas centrales, poseen una altura de entre 20 y 200 m aproximadamente. Esta característica les permite desaguar caudales de hasta 200 m<sup>3</sup>/s por cada turbina. El funcionamiento de estas centrales está condicionado por embalses de gran tamaño, formados en valles de media montaña.

En estas centrales, las turbinas empleadas son de tipo Francis y Kaplan; en el caso de los saltos de mayor altura, puede que sean utilizadas turbinas Pelton.

- **Centrales de baja presión**

Se consideran como tales, las centrales que poseen saltos hidráulicos inferiores a 20 m.

Suelen asentarse en valles amplios de baja montaña y cada turbina está alimentada por caudales que superan los 300 m<sup>3</sup>/s.

Debido a las alturas y a los caudales deben utilizarse turbinas de tipo Francis y Kaplan.

### **Componentes de las Centrales**

Estos componentes se dividen en dos grupos:

- Las centrales hidroeléctricas están compuestas por todo tipo de obras, equipamientos, etc., que tienen como función almacenar y encaminar el agua para lograr una acción mecánica. Este grupo suele denominarse Presa – Embalse y engloba los siguientes elementos: embalse; presa y aliviaderos; tomas y depósito de carga; canales, túneles y galerías; tuberías forzadas y chimeneas de equilibrio.
- El segundo grupo está compuesto por los edificios, equipos, sistemas, etc., cuya misión es la obtención de energía eléctrica luego de las necesarias transformaciones de la energía. Este conjunto constituye la Central y abarca: turbinas hidráulicas; alternadores; transformadores; sistemas eléctricos de media, alta y muy alta tensión; sistema eléctrico de baja tensión; sistema eléctrico de baja tensión; sistema eléctrico de corriente continua; medios auxiliares y cuadros de control.

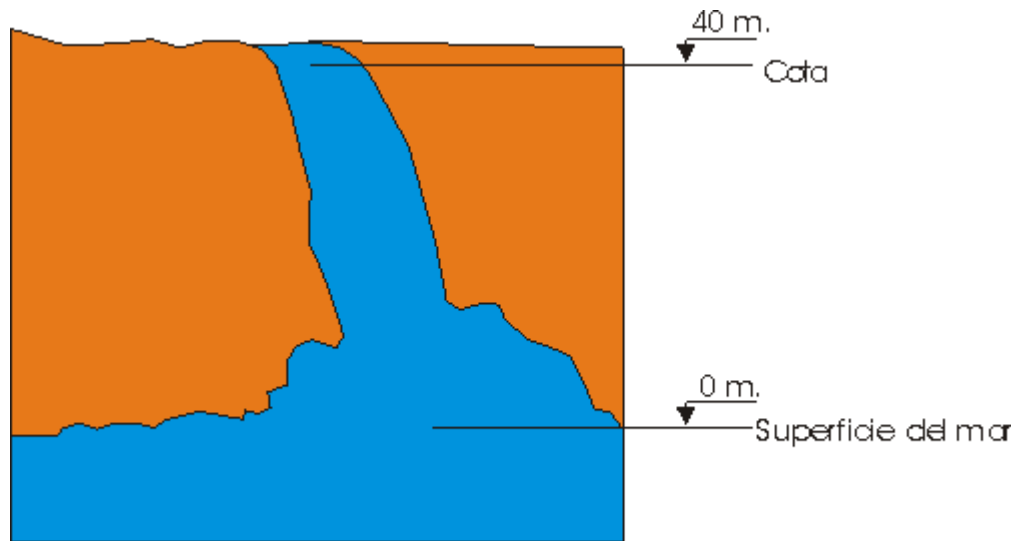
En la construcción de las centrales hidroeléctricas, se tiene en cuenta las características del emplazamiento y de los resultados que quieren obtenerse, y luego se efectúa una combinación de los componentes nombrados.

### **Conceptos Hidráulicos**

#### **Nivel y Cota**

Se denomina nivel a la horizontalidad de la superficie de un terreno, o la que logra la superficie libre de los líquidos. También se define como nivel a la altitud de aquellas superficies o de un punto cualquiera respecto de otro u otros puntos de referencia.

Por cota se entiende el valor de la altura de una superficie o punto respecto del nivel del mar.



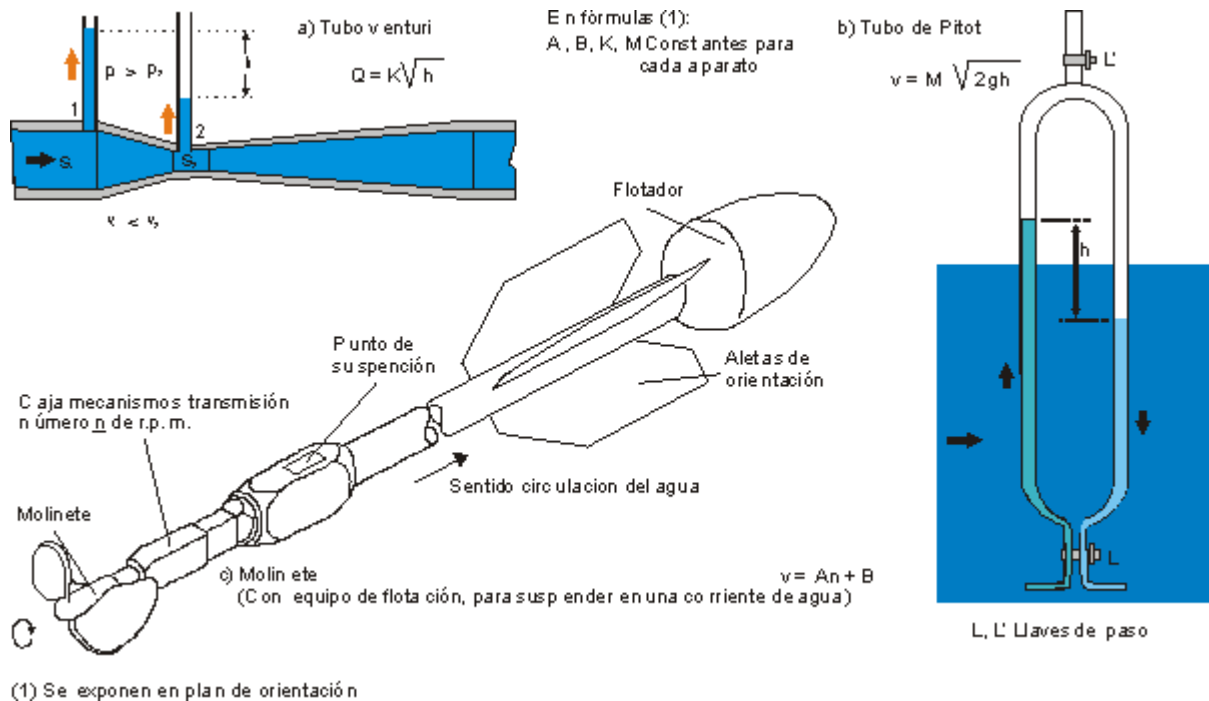
### Caudal y aforo

Recibe el nombre de caudal, la cantidad de líquido, expresada en metros cúbicos o en litros, que circula a través de cada una de los fragmentos de una conducción, abierta o cerrada, en la unidad de tiempo. Cuando el caudal es un orificio se denomina gasto.

Por aforo se entiende el proceso mediante el cual se mide el valor de un caudal. Las mediciones pueden realizarse teniendo en cuenta la sección del conducto, la altura de lámina o calado, la presión en algunos puntos, etc.

El método más sencillo para confeccionar un aforo se efectúa mediante la división de la capacidad de un recipiente por el tiempo que tarda en llenarse. El cronometrado del tiempo en que los flotadores tardan en recorrer una distancia determinada y los vertederos de fragmentos conocidos, son algunos de los elementos que permiten la obtención de las medidas complejas.

Los tubos Venturi y de Pitot y los molinetes Woltman son algunos de los aparatos que se utilizan para determinar los caudales.



La *ley de continuidad* implica que la cantidad de líquido que transita por las diferentes secciones de una conducción en un momento determinado, es siempre constante.

De esta ley se infiere que las velocidades del líquido, son inversamente proporcionales a las secciones por las que circula.

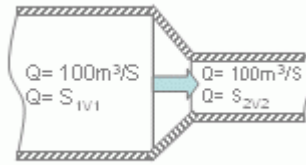
$$S_1v_1 = S_2v_2$$

Por lo tanto:

$$S_1 / S_2 = v_2 / v_1$$

De donde se infiere que si  $S_1 > S_2$ ,  $v_1 < v_2$

### Representación Gráfica de la Ley de Continuidad



### Carga y Pérdida de carga

El principio básico de la Hidrostática expone que la presión, en un punto de un líquido en reposo, ejercida por el propio líquido, es igual al peso de una columna del líquido, de base la unidad y de altura la distancia desde el punto a la superficie libre.

Se entiende por densidad o masa específica a la masa de un cuerpo retenida en la unidad de volumen del mismo. Se representa mediante la letra griega ( $\rho$ )

$$\rho = m / V$$

Donde  $m$  = masa del cuerpo y  $V$  = volumen del cuerpo

Se recuerda que:

$$P = m \cdot g \text{ por lo tanto } P = \rho \cdot h_v \cdot g$$

Donde:

$P$  = peso del cuerpo en Newtones

$m$  = masa del cuerpo en kg.

$g$  = aceleración de la gravedad,  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

$h_v$  = altura expresada en unidades de volumen

La presión en un punto interior del líquido o sobre el fondo del recipiente, está dada por:

$$\text{Presión } (p) = \text{Peso} / \text{Unidad de Superficie } (S) = (\rho \cdot g \cdot h_v) / S = \rho \cdot g \cdot h$$

Despejando, el valor de la altura es:

$$h = p / (\rho \cdot g)$$

El concepto de densidad puede ser reemplazado por el de peso específico, o sea el peso de un cuerpo retenido en la unidad de volumen. Este peso se identifica por ( $\gamma$ ).

$$\gamma = P / V$$

De la fórmula anterior, se obtiene que:

$$h = p / \gamma$$

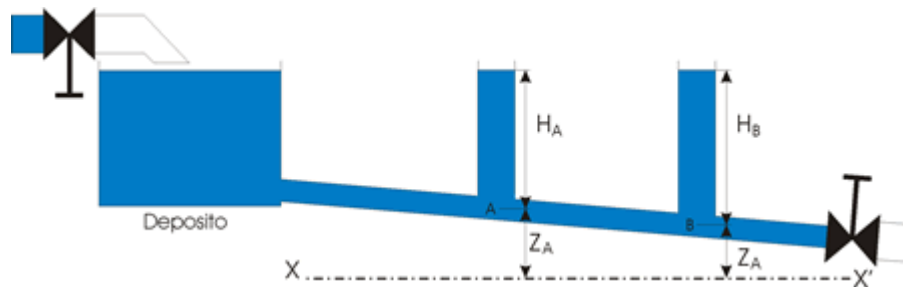
### Teorema de Torricelli

Este Teorema indica que la velocidad de salida de un líquido, por un orificio practicado en la pared del recipiente que lo contiene, es similar a la que conseguirá un cuerpo que descendiese libremente desde el nivel del líquido hasta el centro de gravedad del orificio.

$$\text{Velocidad de caída libre } (v) = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Por lo tanto,

$$h = v^2 / 2 \cdot g$$



### Teorema de Bernoulli

Este Teorema enuncia que para un líquido en movimiento, bajo la acción de la gravedad, la sumatoria de las alturas cinética, piezométrica y geométrica, es constante en cualquier punto de conducción. Ese valor obtenido se denomina altura de carga o carga.



La altura cinética es aquella altura necesaria para lograr la velocidad del líquido en un punto determinado.

$$h_c = \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Por altura piezométrica se entiende la altura alcanzada por el líquido, proporcional a la presión ejercida por la columna de éste sobre el punto dado.

$$h_p = \frac{p}{\rho \cdot g}$$

Recibe el nombre de altura geométrica, la altura existente entre el punto tenido en cuenta y una línea horizontal de referencia.

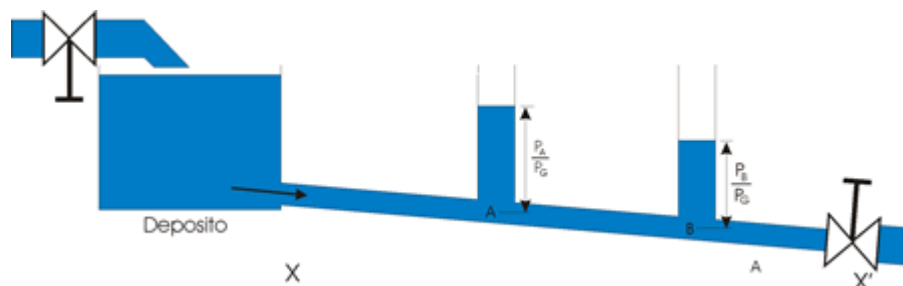
$$h_g = Z$$

Matemáticamente, las alturas mencionadas pueden expresarse en las siguientes igualdades:

$$\left(\frac{V_A^2}{2g}\right) + \left(\frac{p_A}{\rho g}\right) + Z_A = \left(\frac{V_B^2}{2g}\right) + \left(\frac{p_B}{\rho g}\right) + Z_B = H$$

Teóricamente, este valor permanece constante y se deduce que, en un conducto horizontal, al incrementarse la velocidad se reduce la presión de modo que si  $V_A < V_B$ ;  $p_A > p_B$

El Teorema de Bernoulli se cumple siempre que no se produzcan turbulencias ni rozamientos entre el líquido y las paredes de la conducción. Otro condicionante es el grado de perfeccionamiento del líquido, puesto que en el caso de que no sea perfecto, puede trasladar cuerpos o partículas en suspensión, lo que facilita el rozamiento; o sustancias disueltas que alteran su densidad.



Por todo lo expuesto, el valor de la altura de carga  $H$  no es constante, sino que aminora a lo largo del conducto.

Esta disminución recibe el nombre de pérdida de carga ( $J$ ).

Como consecuencia, la expresión matemática del Teorema de Bernoulli sufre la siguiente modificación:

$$\left(\frac{V_A^2}{2g}\right) + \left(\frac{p_A}{\rho g}\right) + Z_A = \left(\frac{V_B^2}{2g}\right) + \left(\frac{p_B}{\rho g}\right) + Z_B + J_{AB}$$

Donde:

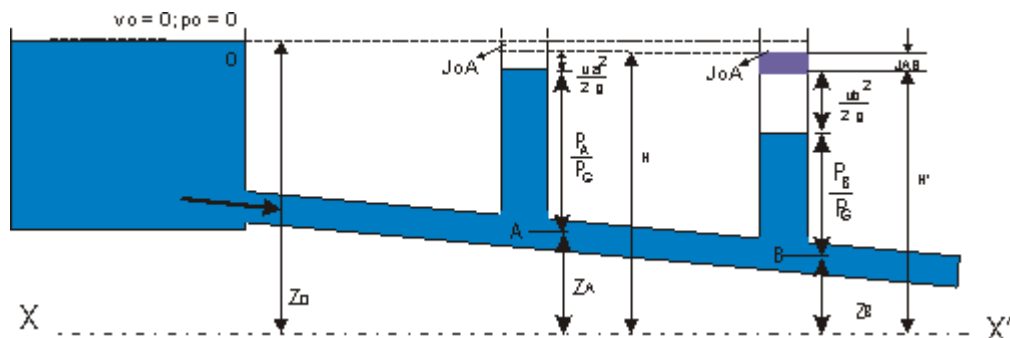
$V_A$  y  $V_B$  = velocidades del líquido en m/s, mediante las secciones correspondientes a los puntos A y B respectivamente.

$Z_A$  y  $Z_B$  = alturas geométricas en m, desde una línea horizontal de referencia, a los puntos A y B.

$g$  = aceleración de la gravedad  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

$\rho$  = densidad del líquido en  $\text{kg/m}^3$ .

$J_{AB}$  = pérdida de carga en m, producida entre los puntos A y B, tal como se indica en la siguiente figura:



## Salto de Agua

Se entiende por salto de agua al paso violento o descenso de masas de agua desde un nivel, mas o menos constante, a otro inmediatamente menor.

La altura de salto o salto es la diferencia de cota y se expresa en metros.

Las cascadas o cataratas constituyen saltos naturales y surgen cuando el cauce del río tiene marcados desniveles. Pero para un mejor aprovechamiento industrial se prefiere la construcción de saltos creados por el hombre.

El agua retenida en el embalse constituye energía potencial, que al caer de un nivel superior a otro inferior por medio de conductos, muda en energía cinética. A su vez, esta última se transforma en energía mecánica a través de la turbina.

La explotación del salto tiene su origen en la presión que el agua ejerce en el punto de toma, desde donde desciende hacia la turbina.

### **Salto bruto o salto real o salto total**

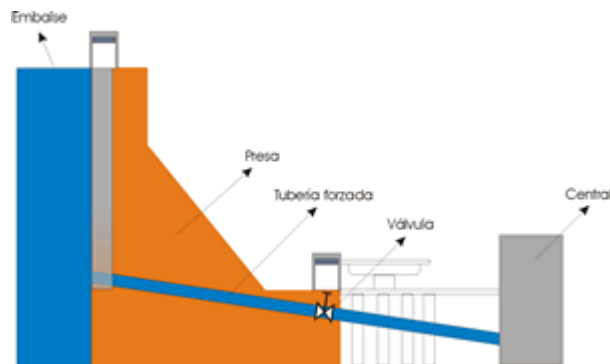
Se expresa mediante la letra  $H$  y representa la diferencia entre el nivel de la superficie del agua retenida y el nivel, en apariencia uniforme, de la corriente de agua que se establece una vez que la misma haya transitado las conducciones que salvan el salto de agua.

### **Salto útil o salto neto**

Se representa con la letra  $H'$ .

Este salto surge de restarle al valor del salto bruto, las pérdidas de carga o altura  $J$  que surgen en la totalidad del trayecto.

Las pérdidas pueden tener origen en las turbulencias y rozamientos del agua en los ingresos de las tuberías, válvulas, modificaciones de sección, etc.



### **Embalse**

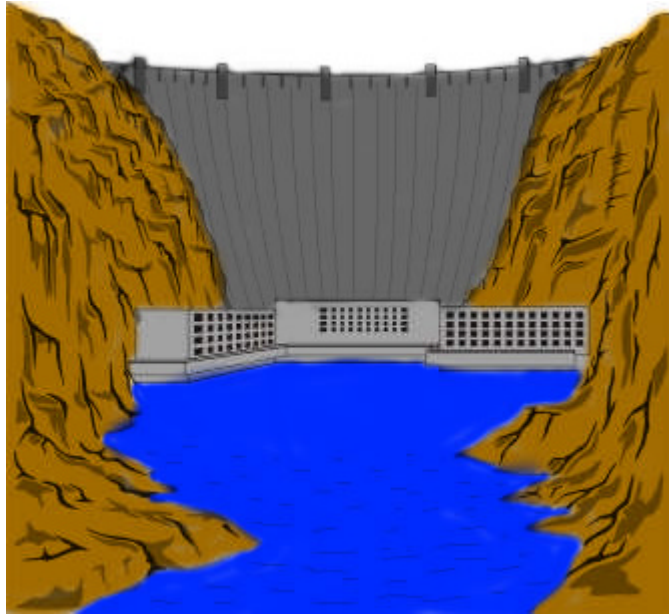
Un embalse surge de acumular las aguas que afluyen del territorio sobre el cual está asentado, identificado como cuenca vertiente. El propósito es encauzar las aguas para un correcto empleo de las mismas, teniendo en cuenta los requerimientos de la instalación.

Por cuenca se entiende la superficie receptora de las aguas caídas que lo nutren; ya sea por escurrimiento inmediata (libre transitar de las aguas por el suelo) o por infiltraciones. La cuenca se mide en kilómetros cuadrados ( $\text{km}^2$ ) y se refieren a la proyección horizontal de dicha superficie.

Las dimensiones de un embalse están condicionadas por los caudales que contribuye el río encauzado y sus afluentes y, principalmente, de las características de producción de la central para la cual se ha construido.

Una explotación de almacenaje, reserva o regulación es aquella que está provista de un gran embalse.

Un embalse capaz de acumular el agua durante lapsos pluviométricos propicios, tiene la capacidad de cubrir las demandas de energía en épocas de escasas lluvias.



### Capacidad Útil

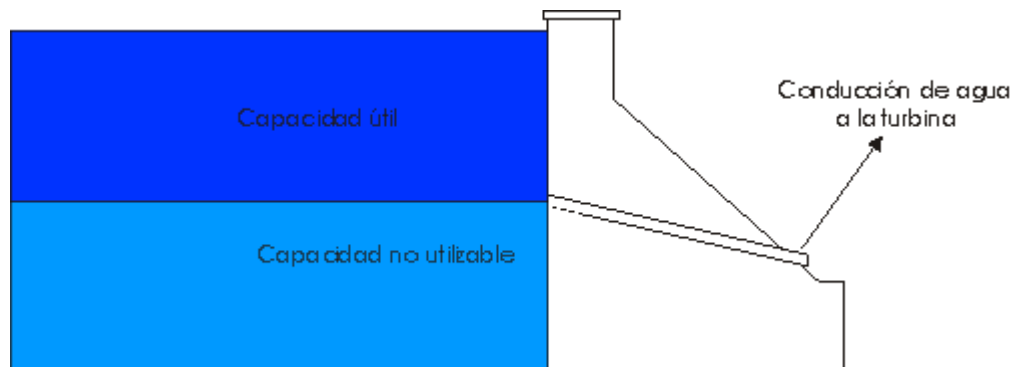
Recibe el nombre de **capacidad útil**, la capacidad de agua embalsada que supera el ingreso de agua hacia la central. Es el volumen de agua disponible para cubrir la demanda de la instalación a la cual pertenece el embalse.

### Capacidad Total

Se denomina **capacidad total** a la totalidad del volumen de agua retenida, o sea, la capacidad útil más la no-utilizable.

La capacidad de un embalse, se expresa en:

- Metros cúbicos ( $m^3$ )
- Hectómetros cúbicos ( $hm^3$ )
- 



La evaporación que se da en la superficie y las filtraciones ocurridas en el terreno son algunas de las causas naturales que originan pérdidas de agua en los embalses.

El correcto mantenimiento de los embalses requiere una inspección constante, con el propósito de:

- Retirar los cuerpos extraños.
- Corroborar la existencia de desprendimientos de terreno.
- Inspeccionar los acarrees del fondo.
- Localizar la salida de burbujas de gas metano (gas de los pantanos).

El aprovechamiento hidroeléctrico implica la explotación de las aguas embalsadas para la obtención de energía eléctrica.

## Presas

Una presa es una estructura cuya función es servir de barrera, impidiendo el curso del agua por sus cauces normales. Su disposición esta condicionada al relieve del lugar de emplazamiento.

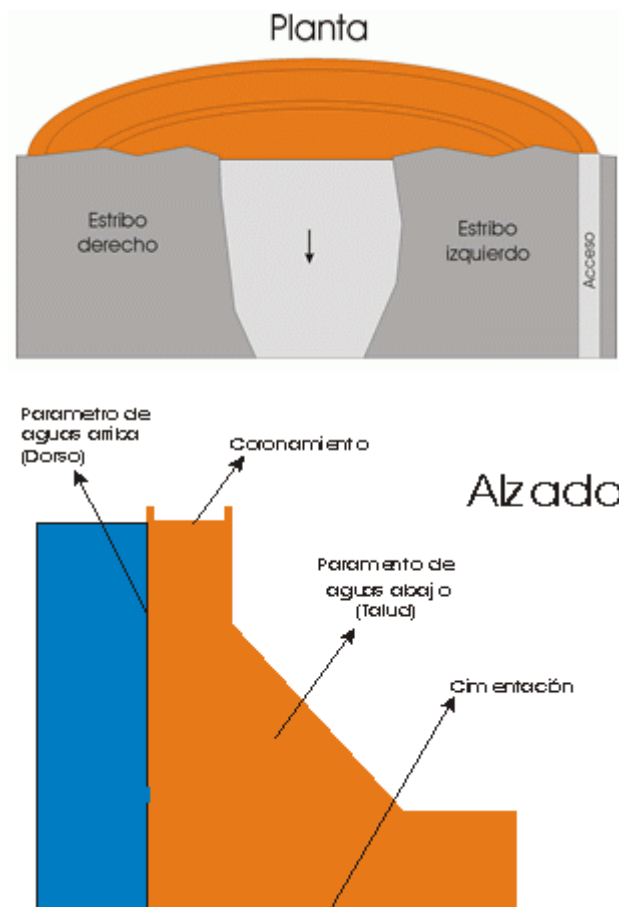
La construcción de una presa, sobre el cauce del río y transversalmente a éste, origina un estancamiento de agua y consecuentemente la creación de un salto de agua. Un pantano artificial es un embalse o lago artificial surgido a partir de la utilización de la presa como depósito de agua.

Las presas tienen un doble propósito:

- La creación de un salto. Cuanto mayor sea la altura de éste, superiores serán las potencias logradas en la central nutrida por dicho salto.
- La construcción de un depósito con el fin de almacenar y controlar el empleo del agua.

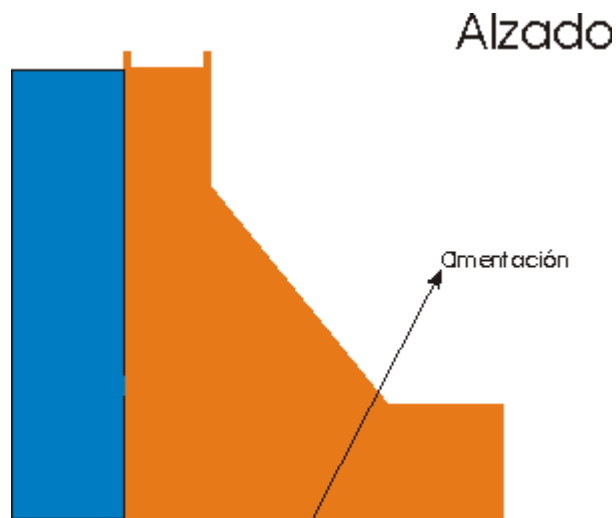
Algunas de las aplicaciones de estas barreras son la provisión de agua a poblaciones, riego, control y distribución de caudales, etc. Otra función importante es la producción de energía eléctrica.

Se entiende por azudes a las presas de pequeña altura.



## Cimentación o Fundamento

Es la base sobre la que se apoya casi la totalidad de la presa. El terreno que compone la misma puede ser de roca, pizarra, lava, etc. y debe poseer la necesaria impermeabilidad para evitar filtraciones y subpresiones.



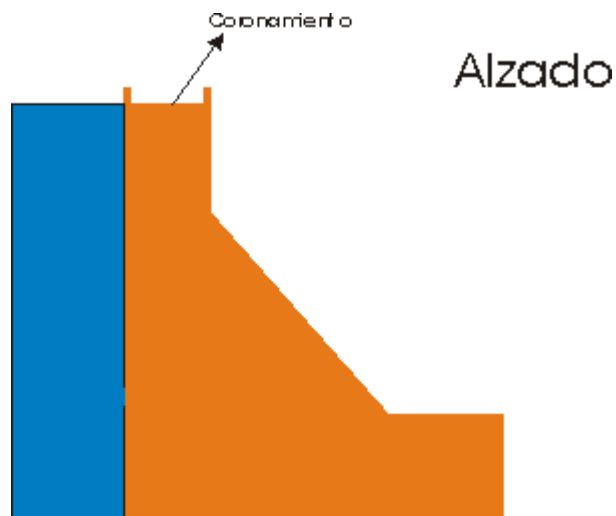
### **Estribos o Apoyos Laterales**

Los estribos están compuestos por las áreas extremas de la presa, las cuales se encargan del cierre, encajándose en el terreno de las orillas. El terreno presenta las mismas características que el requerido en la cimentación.

### **Coronamiento**

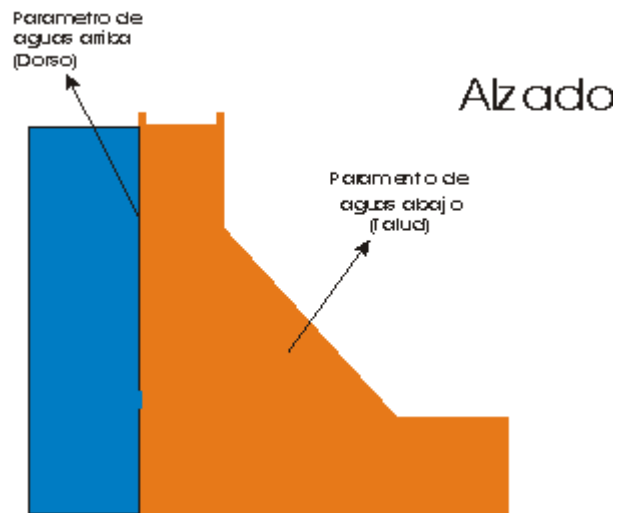
Es la zona mas elevada de la obra y esta constituida por caminos abordables para personas y vehículos de la presa. Funciona como un asentamiento de diferentes maquinarias.

Puede que la coronación de una presa no termina sobre las laderas del río en que se funda sino que se encuentre a una cota superior respecto de la horizontalidad del terreno, con el objetivo de lograr el salto de embalse deseado. La contención del agua se alcanza mediante la construcción de diques.



### **Paramentos**

Se denominan así a las superficies de la presa. Los paramentos de aguas arriba (o dorso) son aquellas superficies que sufren la corriente y la presión del agua; por el contrario el paramento de aguas abajo (o torso) es la superficie opuesta a la de aguas arriba.

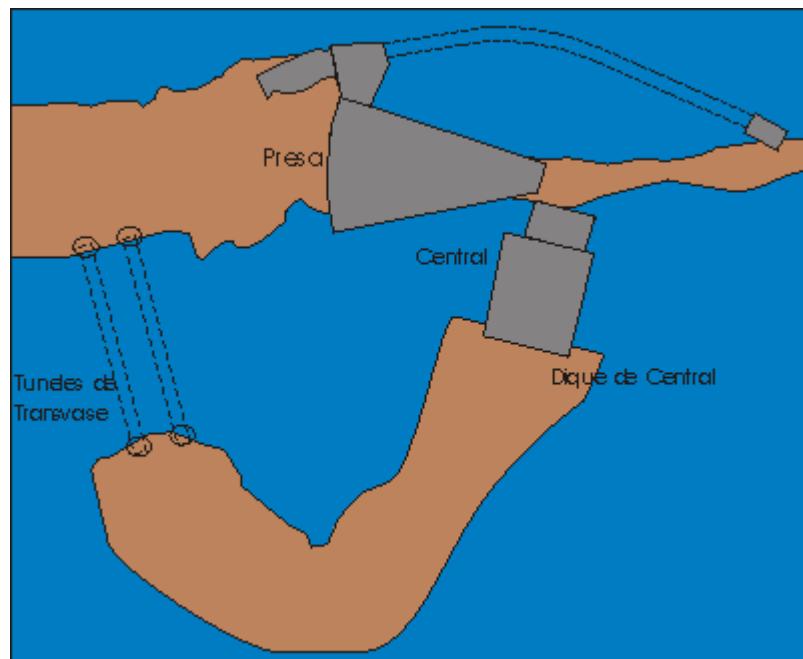


### Clasificación de las Presas

Las presas se dividen según la aplicación de las mismas, los materiales empleados y la forma adoptada. Teniendo en cuenta la aplicación, las presas pueden ser:

#### a) Presas de derivación

Además de la función básica de lograr formar un salto hidráulico, estas presas se encargan de derivar los caudales hacia la central.



#### b) Presas de embalse

Su misión, además de obtener un salto de agua, es el almacenamiento del agua. El agua retenida aparte de emplearse en la obtención de energía eléctrica, puede utilizarse para riego, actividades deportivas, etc.

En lo referente a los materiales empleados, las presas se clasifican en:

#### c) Presas de materiales sueltos o presas de tierra o de escollera

El terreno requerido para su construcción debe ser de gran impenetrabilidad al agua. Esto se logra mediante una pantalla impermeable en el paramento de aguas arriba, o construyendo un núcleo central, llenándose la estructura con tierra, piedras, capas de escollera, etc.

El torso o paramento de aguas abajo puede estar cubierto con mampostería. Este tipo de presas suele utilizarse en la construcción de diques.

#### d) Presas de hormigón

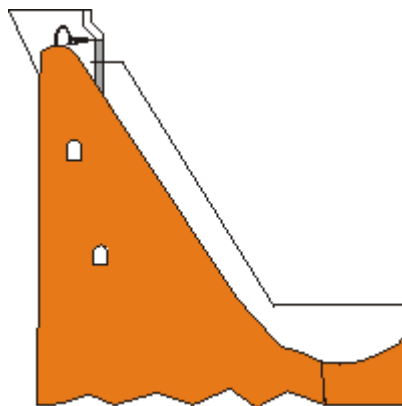
Se trata de presas construidas con hormigón en masa, cemento y grava exclusivamente. Existen otras que utilizan hormigón armado, mediante barras de acero, pero constituyen casos especiales. Actualmente, es la forma más utilizada en la construcción de presas.

En relación con la configuración de las presas, se catalogan en:

#### e) Presas de gravedad

Son aquellas presas en las que las acciones de vuelco y deslizamiento sobre cimientos, producidas por el empuje del agua, son vencidas por la estabilidad y resistencia originadas por el peso propio de la presa.

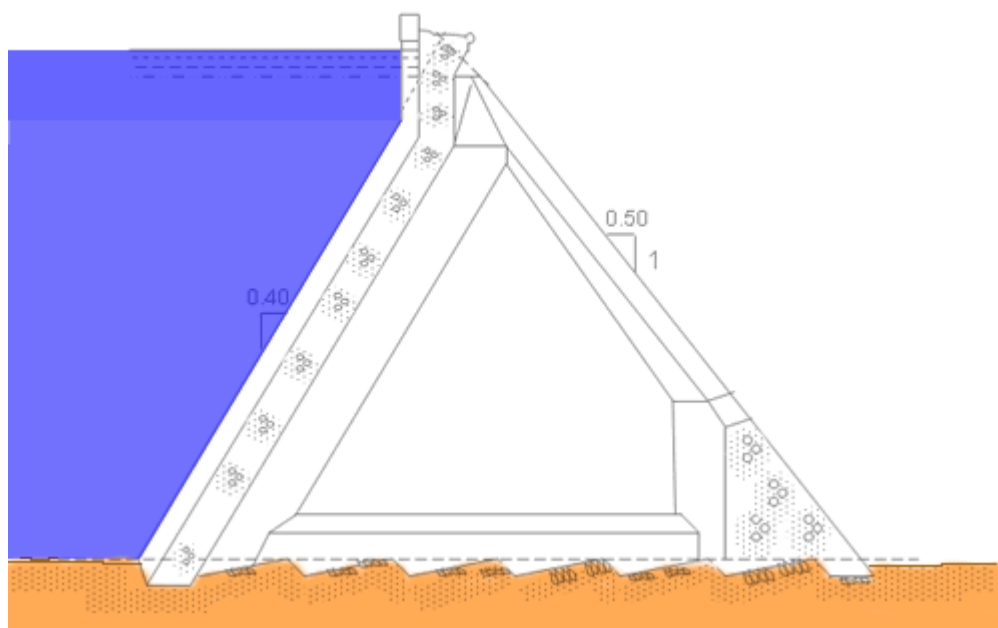
El perfil de las presas de gravedad presenta una forma triangular o trapezoidal, de sección maciza constante.



#### f) Presas de contrafuertes

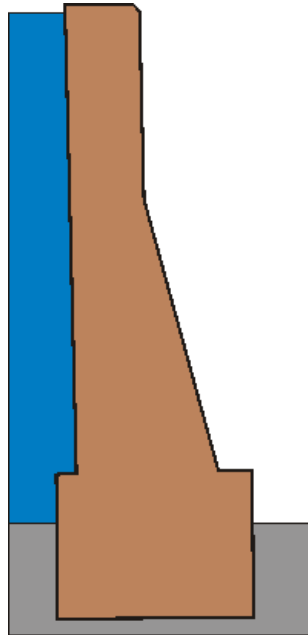
Estas presas presentan una similitud con las de gravedad, pero su perfil con es constante y la zona de sección es menor y a intervalos regulares.

Las presas de contrafuertes se denominan también presas aligeradas debido a que logran una economía de materiales. Además, se apela a estas presas para la construcción de diques.



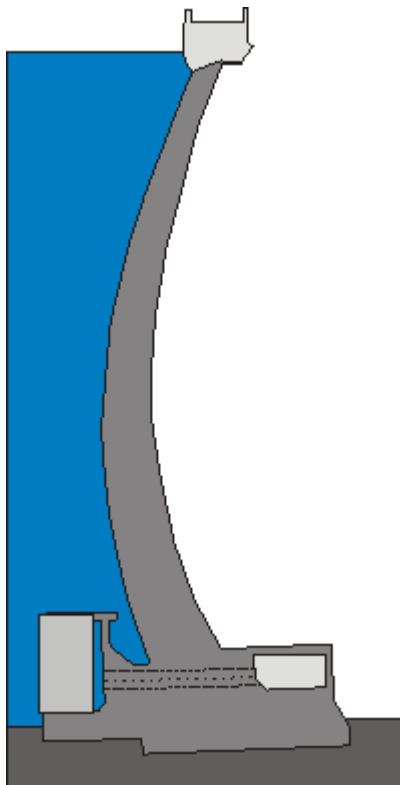
**g) Presas de arco o presas de simple curvatura**

Estas presas presentan una superposición de arcos horizontales, cuya parte convexa soporta la mayor presión del agua y del empuje horizontal. Este empuje se traslada a los apoyos laterales, motivo por el cual éstos suelen ser robustos y estar emplazados sobre rocas compactas. La construcción de estas presas no es frecuente.



**h) Presas de bóveda**

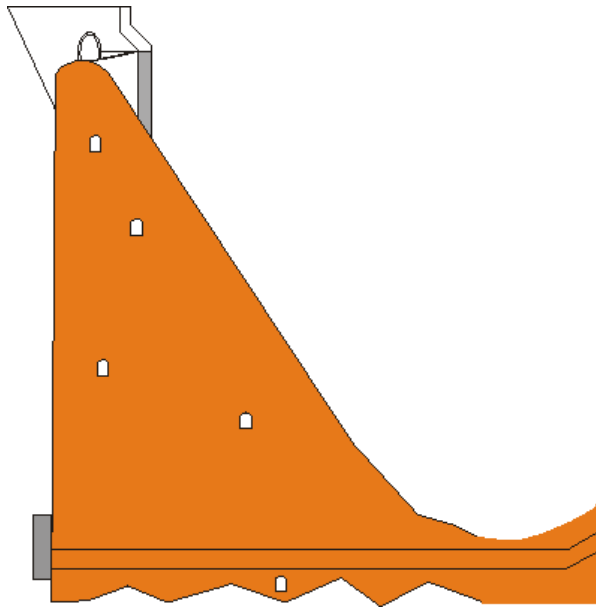
Esta clase de presas se caracteriza por la colocación de arcos horizontales y verticales, originando una estructura prominente. También se conocen como presas de doble curvatura.





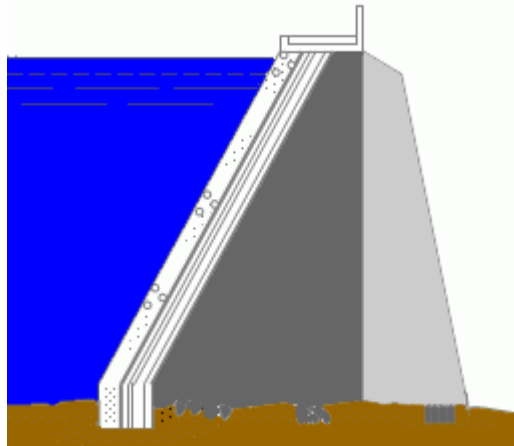
### i) Presas de arco – gravedad

Constituyen presas con características de las presas de gravedad y las de arco de curvatura horizontal.



### j) Presas de arcos múltiples

Son presas de contrafuertes, logradas a partir de sucesivas bóvedas.



### Fuerzas actuantes sobre las presas

Las fuerzas actuantes sobre las presas son las siguientes:

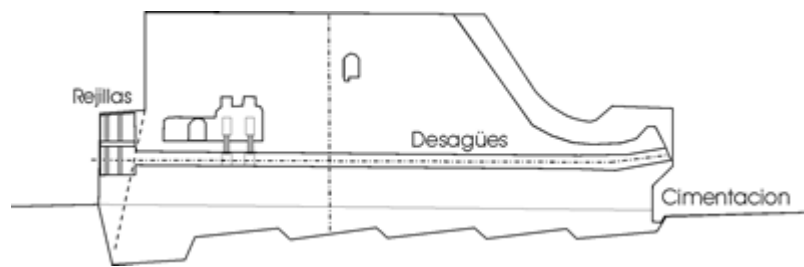
- Fuerzas verticales: surgen como consecuencia del peso de la estructura, la componente vertical de la presión hidrostática ejercida sobre los paramentos, la componente vertical de las aceleraciones sísmicas y las subpresiones del agua.
- Fuerzas horizontales: debidas a la componente horizontal de la presión hidrostática sobre los paramentos y la componente horizontal de las aceleraciones sísmicas.
- Esfuerzos térmicos, dilataciones y contracciones.
- Presión de los rellenos de la tierra y de los sedimentos ejercida contra la estructura.
- Presión del hielo.
- Etc.

### Aliviaderos

Se trata de desagües por los que se encauza el agua, cuando las grandes crecidas originan que la misma rebose las presas. Los aliviaderos protegen la presa contra la erosión y el arrastre y normalmente permiten regular la cuantía de los caudales derramados.

## Desagües de fondo y de medio fondo

Se conocen también como desagües del embalse, y su función es controlar y regular la salida del agua. Los desagües de fondo están integrados por una o más conducciones que traspasan la estructura entre paramentos. Cada conducto cuenta con válvulas de regulación de caudales.

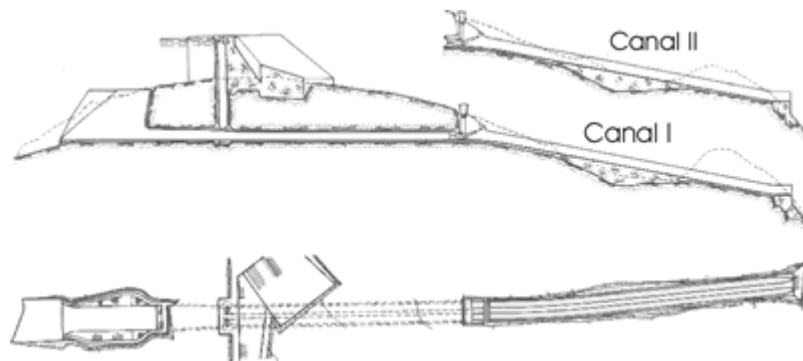


En las áreas de acceso del agua, existen rejillas que frenan la entrada de broza y agentes extraños en suspensión dentro del agua. La separación entre barras de las *rejillas gruesas* está comprendida entre 50 y 250 mm de distancia, mientras que para las *rejillas finas* está separación es de 30 mm.

Además de las compuertas, en las embocaduras se instalan ataguías. La función de éstas es bloquear el paso del agua y así lograr el agotamiento completo de los conductos.

Los *desagües de fondo* se ubican en la zona central de la presa, en las cercanías de la cimentación y sirven como medios de seguridad para el agotado del embalse.

Los *desagües de medio fondo* o *desagües intermedios* sirven para asistir a los aliviaderos de superficie y para controlar el nivel de embalse. Están situados a media altura de la presa y en los laterales de ésta.



## Gal.Inspección - Esc. de Peces

### Galerías de Insepcción

Estas galerías transitan la estructura de la presa en diferentes sentidos, con el propósito de revisarla interiormente. Además permiten llegar a las maquinarias que en ella existen (motores, bombas de agotamiento, etc.).

La principal ventaja de las galerías de inspección radica en que permiten la vigilancia y el control de las filtraciones y juntas en el hormigón. De hallarse algunas de éstas, se introducen *drenes* en los que tiene lugar aforos y *extensómetros* que individualizan las juntas entre bloques de hormigón. También se *utilizan captosres de temperaturas, péndulos* para localizar movimientos o irregularidades en la presa y *piezómetros* vigilar presiones de agua, etc.

### Escala de Peces

Mediante este canal abierto ubicado en una de las márgenes, se comunica la superficie de aguas abajo con la de aguas arriba de la presa. Su ancho es menor a 1,5 m.

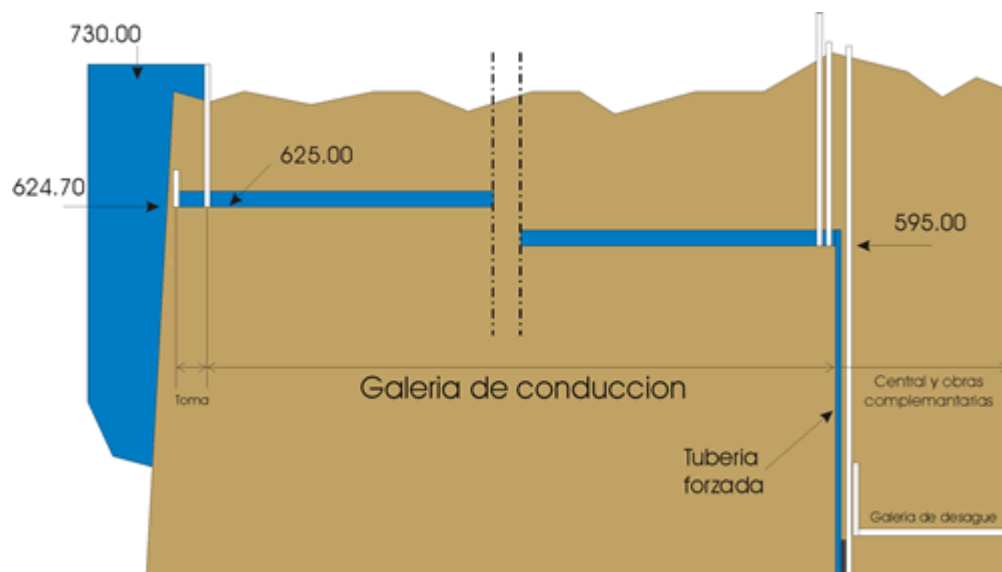
### Conducciones de agua

Este concepto encierra todas las conducciones y equipamientos que existen entre el embalse y el desagüe en el extremo inferior del cauce. Se excluye la turbina y el tubo de aspiración, el cual es parte integrante de ésta y tiene como función recuperar la energía cinética del agua a la salida de la turbina.

Las provisiones de agua, tomadas de los embalses para las turbinas, pueden realizarse por medio de distintos métodos:

- Directamente, a través de tubería forzadas que se inician en las tomas de agua, ubicadas en el área de presa.
- Mediante canales o túneles que desaguan en un depósito de carga denominado depósito de extremidad, del cual emanan las tuberías forzadas.
- A través de dos tramos bien diferenciados, en el caso de tratarse de largas distancias entre el embalse y la central. El primer tramo está compuesto por una o varias galerías de escasa pendiente y gran longitud denominadas galerías de presión. Las embocaduras de éstas galerías tienen origen en una toma convencional o desde torres de toma. El segundo tramo está constituido por una o más tuberías sujetas a presiones muy elevadas.

Si la central se ubica próxima o junto a la presa, recibe la denominación de *central a pie de presa*. Si en cambio, se encuentran distanciadas una de la otra, con el objetivo de lograr un mayor desnivel o altura de salto, la central se conoce como *central en derivación*.



### Tomas de agua

Se entiende por toma de agua, al área de la obra donde se recoge el agua requerida para el accionar de las turbinas.

Las aberturas, por donde ingresa el agua, están resguardadas por rejillas. La limpieza de estas últimas se realiza a través de un medio mecánico o manual consistente en un rastrillo, denominado *raedera* o *mano de hierro*.

Los desarenadores son estructuras creadas para favorecer la sedimentación de las partículas sólidas. Son construidos en zonas precedentes a la toma, en el caso de que la captación del agua se realice donde la masa líquida acarrea cantidades importantes de arena o grava.

### Torres de toma

Corresponde tal denominación, a las estructuras colocadas hacia el interior del embalse, cuya función es tomar el agua de alimentación. En estas torres es donde se emplazan todos los sistemas y equipamientos requeridos para controlar el acceso de agua a las turbinas.

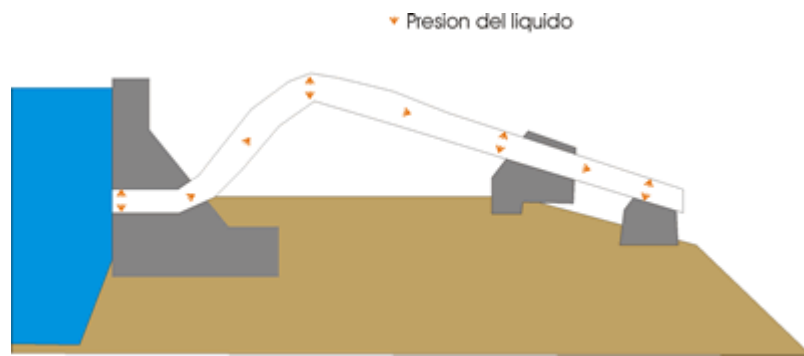
Las torres de toma reciben el nombre de *torres de rejillas*, cuando la construcción sólo comprende a estos elementos, encargados de filtrar el agua.

### Canales, Túneles y Galerías

Estas denominaciones se emplean para referirse a las diferentes clases de conductos artificiales, construidos para encarrilar el agua.

Una conducto abierto abarca los conductos en los que, la superficie libre de una masa líquida, se encuentra en contacto directo con la atmósfera. El desplazamiento del líquido se logra por efecto de gravedad por estar sometido al efecto de la presión atmosférica. Esta conducción trabaja a régimen libre. En una conducción cerrada el líquido no presenta una superficie libre, por lo que las paredes del conducto que lo guía lo envuelve físicamente. Esta conducción tolera la presión del fluido, la cual origina

el desplazamiento del líquido, con independencia de las pendientes, descendente o ascendentes. Este conducto trabaja a régimen forzado.



Los *canales* son conductos abiertos, en los cuales el tránsito del agua se produce por la existencia de leves desniveles, entre las embocaduras y desembocaduras respectivas.

La función de los canales de derivación es conducir el agua desde la toma, ubicada en el embalse, hasta los depósitos de carga.

Los *túneles* y *galerías* constituyen conductos cerrados subterráneos. Cumplen la misma función que los canales, con la diferencia que el agua llega hasta el área de conexión con las tuberías forzadas, a régimen forzado.

La diferencia entre los túneles y las galerías radican en la forma y dimensiones de sus secciones, las cuales son mayores en el caso de los túneles.

La construcción de todos estos conductos suele ser de hormigón en masa o armado, estando supeditada la misma a las secciones, las condiciones de servicio y las características del terreno.

### **Tuberías Forzadas o Tuberías de Presión**

Se trata de conducciones forzadas, como consecuencia de las altas presiones en la totalidad de su superficie, por encontrarse repletas de agua, y desplazarse ésta por la acción de la presión y no por la pendiente.

La función de las tuberías es la conducción del agua directamente desde el punto de alimentación hasta las turbinas ubicadas en la central. Las tuberías forzadas pueden originarse en una toma de agua, en una galería, un pozo de presión o en un colector.

La construcción de estas tuberías puede ser de acero o de hormigón armado.

Cuando las tuberías mecánicas pertenecen a saltos de poca altura, su espesor y diámetro suelen ser constantes; si se trata de saltos de media y gran altura, el diámetro de las mismas se reduce progresivamente y el espesor aumenta de igual manera.

La colocación de las tuberías puede llevarse a cabo al aire libre o recubiertas de hormigón. En la primera opción, las tuberías están colocadas sobre apoyos fijos o rodillos. En estos casos, no interesa el recubrimiento de la instalación a través de cuerpos de obra o se trata de instalaciones a la intemperie.

El segundo caso, es característico de tuberías sumergidas, total o parcialmente, en zanjas del terreno. En este caso, las tuberías se utilizan para alimentar turbinas instaladas en centrales subterráneas en zonas rocosas consolidadas.

En las dos opciones posibles se colocan juntas de dilatación, entradas de hombre (o agujeros o bocas de hombre), tomas para control de presiones, etc.

Las superficies exteriores de las tuberías que se encuentran emplazadas al aire libre y las interiores de las tuberías en general, están cubiertas de pintura para su protección.

Las subpresiones del interior de las tuberías forzadas pueden originar deformaciones, por lo que se montan conductos o dispositivos que posibilitan la entrada y salida de aire. En el caso de las tuberías al aire libre, este efecto se agrava, pudiendo la presión exterior aplastarlas materialmente.

Las tuberías forzadas se completan de agua, antes de abrir el dispositivo de la turbina que posibilita el acceso del líquido por la misma. Las *válvulas de ventosa* o *de flotador* permiten el paso del aire, en ambos sentidos, con el propósito de evitar el surgimiento de burbujas dentro del líquido durante el colmado, o fuertes despresiones al desaguarse las tuberías.

El *golpe de ariete* es un fenómeno que se da en todos los conductos, pero particularmente en las tuberías forzadas, y que se exterioriza por fuertes y bruscos cambios de presión en las masas de agua. Los medios hidráulicos, como válvulas de seguridad, válvulas de regulación y chimeneas de equilibrio, son los recursos más eficientes para moderar este efecto.

## Chimeneas de equilibrio

Estos dispositivos también se conocen como cámaras de presión, tanques de equilibrio o depósitos de compensación.

Su función primordial es menguar, al máximo, las consecuencias perjudiciales que originan los golpes de ariete.

Se trata de pozos piezométricos, ubicados sobre los conductos, estando unidos a éstos por su parte inferior. En estos pozos, el nivel del agua oscila, según los valores de presión que existen en dichas conducciones.

La instalación de las chimeneas de equilibrio suele darse en el área de unión de las galerías con las tuberías forzadas o en cercanías de la unión de los tubos de aspiración con las galerías o túneles de desagüe de máquinas.



Las chimeneas de equilibrio cuentan con cámaras de expansión, que se encargan de absorber las sobrepresiones que se producen en las columnas de agua que llenan los conductos. Las cámaras de expansión superiores se caracterizan por ser grandes depósitos o galerías, mientras que las inferiores, constituida por galerías, se cierran a diferente altura sobre el pozo correspondiente.

Estas chimeneas posibilitan la transformación de la energía cinética del agua en energía potencial.

## Colectores y galerías de desagüe

La evacuación del agua de una turbina al cauce del río se produce mediante su tubo de aspiración, en la zona conocida como tajamares o socaz.

Las conducciones a base de colectores y galerías de desagüe dirigen el agua desde los tubos de aspiración de las diferentes turbinas hasta la desembocadura final. Cuando la turbina se desborda, el agua, en su camino por los conductos de desagüe, alcanzara una velocidad baja, lo que determina una mejor explotación de la energía del salto debido a su altura.

## Aireación de conducciones de agua

En las *tuberías de aireación* se originan corrientes de aire en ambos sentidos, con el fin de eliminar los riesgos de subpresiones o sobrepresiones, por el efecto de succión y vacío. Estas tuberías existen en conductos abiertos o cerrados, o sujetos a variaciones de presión, como desagües de fondo y medio fondo, tuberías forzadas, etc.

## Compuertas

Se denomina compuerta a cualquier dispositivo capacitado para detener, permitir el libre paso, o regular las masas de agua que se aproximan a una abertura, sumergida o no, o que transitan por un conducto abierto o cerrado.

Las compuertas reciben el nombre de *presas móviles*, cuando para almacenar el agua que transita por un cauce solo se utilizan dichas compuertas como únicos medios de retención. Si el agua ha sido acumulada sólo por medio de compuertas y el abastecimiento de la misma se utiliza en una central, ésta recibe el nombre de *central de esclusa*.

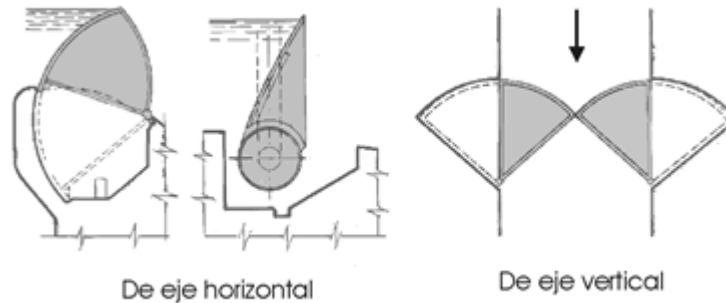
En las compuertas no deben producirse vibraciones, sea cual sea la apertura y la presión a la que esta sujeta.

Además, deben tener la capacidad de abrirse y cerrarse a la mayor velocidad posible.

Las compuertas suelen adecuarse a la sección donde se instalan, y generalmente están constituidas por una superficie metálica rectangular, plana o curva, denominada *pantalla* o *tablero*.

- Compuertas giratorias:

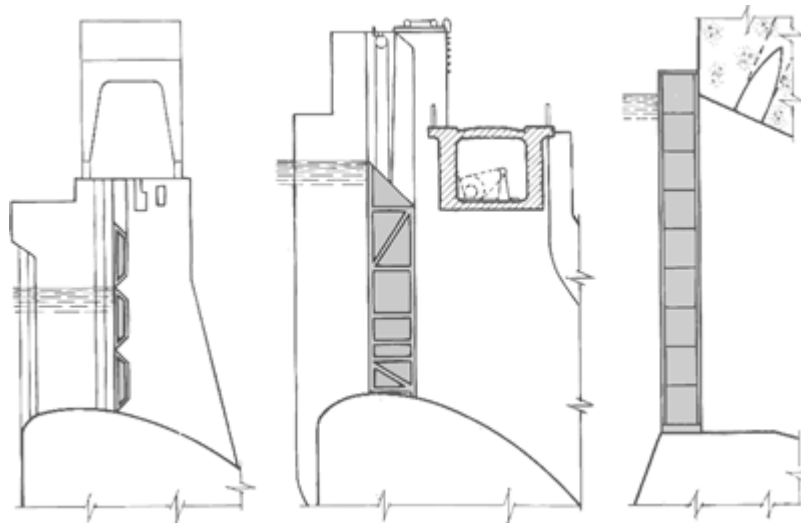
Se incluyen dentro de esta categoría, aquellas compuertas que efectúan las tareas de apertura y cierre siguiendo trayectorias circulares, al girar las pantallas sobre ejes horizontales y verticales. Mediante diferentes procedimientos de accionamiento.



- Compuertas deslizantes

Estas compuertas están formadas por un tablero de superficie plana, y en ellas los sentidos de desplazamiento se realizan según el plano vertical o levemente inclinado al umbral de la abertura o al conducto respectivo, a través de maquinarias de tracción que actúan en el mismo plano.

Todos los tipos de compuertas que integran esta categoría, poseen mecanismos de rodadura, con el objetivo de disminuir los esfuerzos requeridos para su accionar.

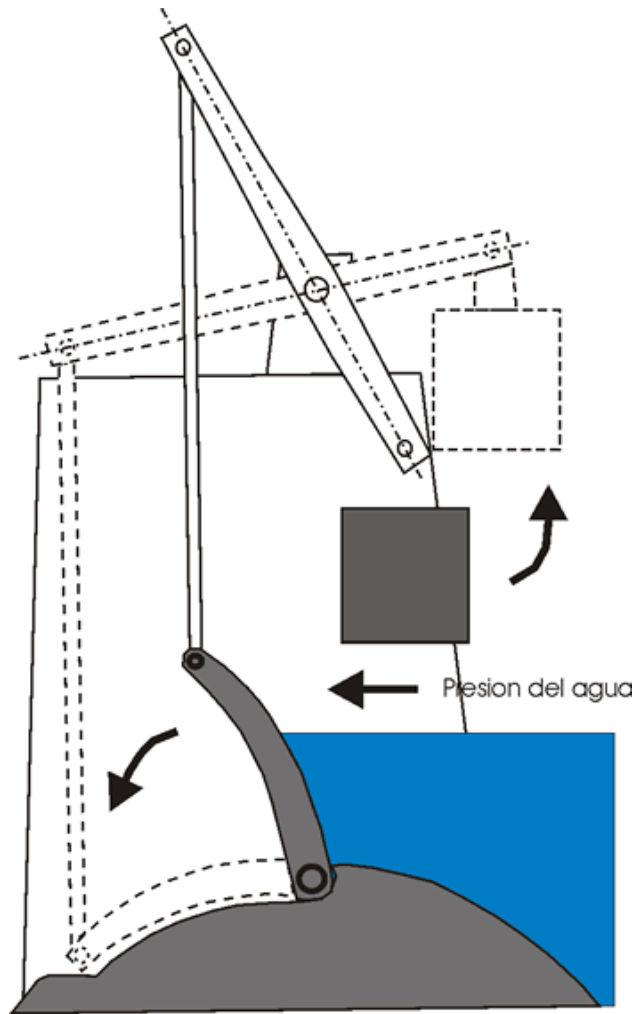


- Compuertas Automáticas

Esta categoría se refiere a aquellas compuertas, pertenecientes a cualquiera de las clasificaciones anteriores, que poseen equipos que les posibilita moverse según a unas condiciones de desagüe de caudales, sin la intervención de control remoto sobre las mismas. La actividad automática procura mantener constante el valor de cota en el área de su influencia.

En estas compuertas se emplea la presión del agua como medio de accionamiento. Los equipos utilizados pueden ser lastres y flotadores, o sistemas más complejos como ser las cámaras de presión.

Dentro de esta categoría, se destacan las compuertas de clapeta automáticas, compuertas de sector automáticas y compuertas de segmento automáticas.



### Compuertas automatizadas

En la actualidad, las compuertas se controlan a través de equipos electrónicos, que envían las señales a los automatismos encargados del manejo de los mecanismos de accionar.

### Válvulas

Las válvulas desempeñan la misma función que las compuertas, pero se diferencian de estas en cuestiones constructivas y de accionar como en las áreas de utilización.

Las válvulas se emplazan siempre en conductos cerrados, generalmente de sección circular. Se instalan en aberturas de secciones de considerable menor tamaño que las correspondientes a las áreas en las que se emplean las compuertas.

- **Válvulas de Compuerta**

La función de estas válvulas consiste exclusivamente en la apertura y cierre, no siendo aptas para regular el paso del agua. El dispositivo de obturación se coloca en posiciones intermedias, debido a las pérdidas de carga que se producen.

Un vástago, accionado manualmente o a través de equipos hidráulicos, mecánicos, etc. es el mecanismo que logra el desplazamiento del obturador, en dirección perpendicular al sentido de circulación del agua.

En caso de que el conducto posea una gran sección, y por lo tanto el obturador de la válvula, se deberán equilibrar presiones a ambos lados de éste antes de su apertura. Se consigue por medio de un circuito; con válvula incorporada, denominada válvula by-pass, o por extensión, by-pass. Dicho circuito se encuentra conectado en paralelo con el conducto general. Las válvulas de compuerta suelen utilizarse en los desagües de fondo.

- **Válvulas de Mariposa**

Al igual que las válvulas de compuerta, se utilizan solo para permitir o no el paso de las masas de agua.

El dispositivo de obturación tiene forma de disco y se lo conoce con el nombre de lenteja. Este mecanismo se adapta a la sección de paso de la válvula y se acciona por un eje instalado diametralmente al cuerpo de la válvula. Para simplificar los giros del obturador, se colocan contrapesos que equilibran esfuerzos.

El cierre hermético, entre el cuerpo de válvula y el disco, se consigue mediante el contacto directo de anillos metálicos intercambiables, mediante discos macizos de caucho u otro material sintético, o con tubos de estos materiales llenos de aire a presión.

Estas válvulas se emplean en conducciones de gran diámetro y se hace necesario equilibrar presiones a ambos lados del obturador antes de su apertura.

Se emplazan en los desagües de fondo y en las tuberías forzadas, antes del arribo del agua a la turbina

Servomotores o sistemas de cremalleras accionadas por grupos moto-reductores son los mecanismos encargados del accionar de estas válvulas.

- **Válvulas Esféricas**

Se utilizan para dar paso total o bloquear en forma completa la circulación de las masas de agua. En este caso, el obturador consiste en una esfera ajustada al cuerpo de la válvula. Dicha esfera se encuentra atravesada por un orificio que, cuando está abierto, da continuidad al conducto y, cerrado, se coloca perpendicularmente a éste.

Estas válvulas pueden emplearse para regular el paso del agua, debido a que en la actualidad han podido eliminarse las vibraciones.

Posee un sistema de accionar similar a las válvulas de mariposa, y sus movimientos son relativamente lentos.

Generalmente, las presiones en esta clase de válvulas se equilibran por medio del by-pass.

- **Válvulas de chorro hueco (de anillo)**

Reciben este nombre debido que proyectan un chorro hueco de forma anular.

Se instalan en los orificios de salida de los conductos de los desagües de fondo, con el fin de amortiguar la energía cinética del agua en su caída y evitar así, las posibles erosiones en el área del terreno cercana a las cimentaciones de las presas.

Este tipo de válvula se compone de un deflector fijo, formado por un cono recto, cuyo vértice, apunta hacia el interior del conducto y se introduce en el orificio de salida.

El cierre o apertura del conducto para el paso del agua, o las posiciones intermedias que permiten la regulación, se logran por medio de un tubo cilíndrico concéntrico con el cuerpo de la válvula. Este tubo se desplaza exteriormente a lo largo de éste, acercándose o alejándose del cono difusor.

El cilindro obturador se acciona por dos moto-reductores colocados diametralmente. Cada reductora controla un brazo que ejerce esfuerzos axiales sobre el cilindro; el sincronismo de movimientos entre ambos brazos se logra por medio de una transmisión rígida que enlaza ambas reductoras. El equipo de accionar puede ser conseguido manualmente.

Las limitaciones de los recorridos de apertura y de cierre se consiguen a través de dispositivos eléctricos o servomecanismos.

## **Fenómenos de Conducción Hidráulica**

Casi la totalidad de las conducciones se encuentran sujetas a la acción del agua, en especial las de tipo cerrado y las sometidas a cambios bruscos de presión.

Los fenómenos de cavitación y golpe de ariete repercuten negativamente en cualquier clase de conducto, si no se toman las medidas apropiadas para suprimirlos o reducirlos.

### **Cavitación**

Este fenómeno implica la formación, dentro de las masas líquidas, de espacios huecos o cavidades llenas de gas o vapor, surgidas por una vaporización local. La cavitación tiene su origen en reducciones de presión dentro del seno de los líquidos, cuando se desplazan a grandes velocidades, manteniendo la temperatura ambiente.

Las sustancias que el agua lleva disueltas (aire, gas, partículas sólidas, etc.) junto con las alteraciones de presión ocasionadas por la turbulencia de las masas líquidas, impide la continuidad de éstas. Lo que origina el surgimiento de cavidades microscópicas.

Cuando el agua se encuentra en su estado natural, contiene aire en disolución y la cantidad será mayor cuanto más elevada es la presión.



- Cavitación en Burbuja o Transitoria: Las burbujas surgen en forma repentina sobre el contorno del cuerpo sólido sumergido en el líquido, que crecen en extensión y desaparecen.
- Cavitación estacionaria: Las burbujas se constituyen en el contorno del cuerpo y se mantiene en él, mientras que no se produzcan modificaciones en las causas productoras.

La cavitación puede presentarse en tuberías, turbinas, bombas hidráulicas, hélices, superficies sustentadoras y conductoras de líquidos, etc.

La cavitación debido a la acumulación de burbujas de vapor que dificulta la afluencia normal de las masas líquidas, puede tener como consecuencia la disminución de la velocidad a la que trabajan las máquinas hidráulicas

Las erosiones que se producen en las superficies metálicas, muros, etc. reciben el nombre de *cavitaciones*.

Una vez que se producen burbujas de cavitación en el interior de un líquido, estas aumentan su tamaño a máximo en un espacio corto de tiempo como consecuencia de reducciones de presión.

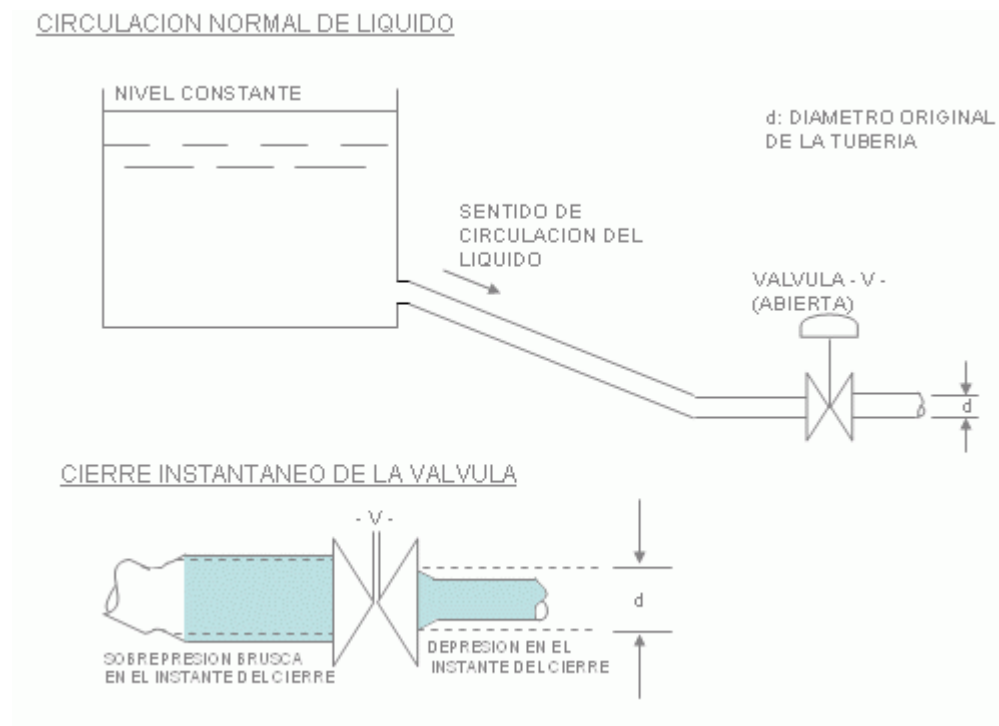
Debido a un nuevo rompimiento de las burbujas, las partículas de líquido se precipitan hacia el centro de la burbuja y superficies sólidas sobre las que cada una de ellas estaba fija.

## Golpe de Ariete

Cuando se interrumpe con rapidez la circulación de un líquido que transita a cierta velocidad, por un conducto, se originan fuertes variaciones de presión sobre las paredes interiores de éste y del dispositivo que frena el caudal suministrado, como consecuencia del cambio brusco en el desplazamiento del líquido en el interior de la conducción cerrada.

Conjuntamente con las deformaciones originadas por las sobrepresiones y depresiones, se producen vibraciones y otras consecuencias que pueden originar roturas, aplastamientos y otras averías en las tuberías y sus equipos.

## Efectos Producidos por el Golpe de Ariete



## TRANSMISION DEL ENSANCHAMIENTO ELASTICO HACIA EL DEPOSITO, Y DE LA DEPRESION HACIA LA SALIDA



El golpe de ariete se produce en las tuberías cuando se realizan operaciones rápidas en los equipos que abren, cierran, o regulan el deslizamiento del agua, como ser válvulas, compuertas, anclajes, etc. Este fenómeno también puede darse cuando existen reducciones bruscas de la potencia requerido a un generador accionado por turbina hidráulica.

La acción del golpe de ariete puede atenuarse e incluso impedirse si se acciona lenta y progresivamente las válvulas, compuertas, etc. y principalmente, a través del emplazamiento de chimeneas de equilibrio. Estas amortiguan las variaciones de presión al comportarse como pozos piezométricos.

Los efectos del golpe de ariete son más significativos en los conductos de gran longitud y tiene mayor fuerza al cerrar el paso de agua.

El estudio del golpe de ariete tiene su fundamento en la teoría de la onda elástica, la cual implica el desplazamiento, a una velocidad dada, de las variaciones de presión a lo largo de una tubería. Mediante esta teoría, se anula la idea de igualar la tubería de conducción como un cuerpo rígido.

La velocidad recibe el nombre de celeridad de la onda, y se refiere a la velocidad del sonido dentro del sistema considerado, estando condicionado por el diámetro, espesor y elasticidad de la tubería, así como de la densidad y compresibilidad del líquido. El valor de la longitud del conducto no influye.

Los valores de las presiones originadas en un golpe de ariete, están en razón directa con el cambio brusco de velocidad del líquido.

Se entiende por período crítico de una tubería al tiempo necesario tarda una onda en desplazarse desde el origen de la perturbación hasta el extremo libre y regrese.

Se diferencian *golpes de ariete positivos* y *golpes de ariete negativos*. En el primero de los casos, la onda elástica, al encontrar menor resistencia en la chimenea de equilibrio que en la propia tubería, se dirige hacia aquella, originando una elevación del nivel de agua en el depósito o galería de expansión, produciéndose una desaceleración en la columna líquida. En cambio, cuando el golpe de ariete es negativo, el nivel de agua en la chimenea disminuye, provocando una aceleración del agua en la tubería.

El golpe de ariete también recibe el nombre de martillo de agua (waterhammer), y en el caso de tratarse de oleoductos y fluidos diferentes del agua se lo conoce como surge.

## Centrales Nucleares

La Energía Térmica obtenida a partir de la combustión de distintas sustancias (madera, carbón, petróleo, gas) es producto de un proceso de transformación química. Es decir, la energía útil se genera en función de alteraciones en la manera en que los distintos átomos se combinan para formar moléculas; no obstante la naturaleza propia de los átomos que intervienen no experimenta modificaciones.

De forma opuesta, las reacciones nucleares establecen procesos de transformación física en los cuales mediante cambios de partículas subnucleares (protones, neutrones, electrones) y de la emisión de radiación electromagnética, se registran modificaciones en la naturaleza de los átomos que intervienen.

Desde el punto de vista energético, la principal diferencia existente entre las reacciones nucleares y las químicas es la gran cantidad de energía que en las mismas se libera de manera espontánea a partir de masas muy pequeñas.

Por este motivo, la comprensión de los fenómenos nucleares ha originado una intensa búsqueda de las condiciones tecnológicas que permitan producir dichas reacciones de manera controlada.

Este esfuerzo de mejora tecnológica tuvo dos objetivos distintos: por un lado se intentó determinar si los procesos de transformación nuclear regulados eran factibles de realizarse, de manera tal que la energía liberada causada por una reacción específica pudiera ser utilizada de manera eficiente; por el otro se buscaron formas de preservar las sustancias, liberando de esta forma grandes cantidades de energía de forma espontánea.

El alcance de la primera meta llevó a la construcción de las plantas nucleares generadoras de electricidad; mientras que la segunda dio lugar a los diferentes modelos de plantas nucleares que hay en la actualidad.

Todos los reactores nucleares en operación, al igual que los que se hallan en etapa de diseño, fundamentan su capacidad de generación en el aprovechamiento de la energía térmica liberada durante el proceso de la fisión nuclear.

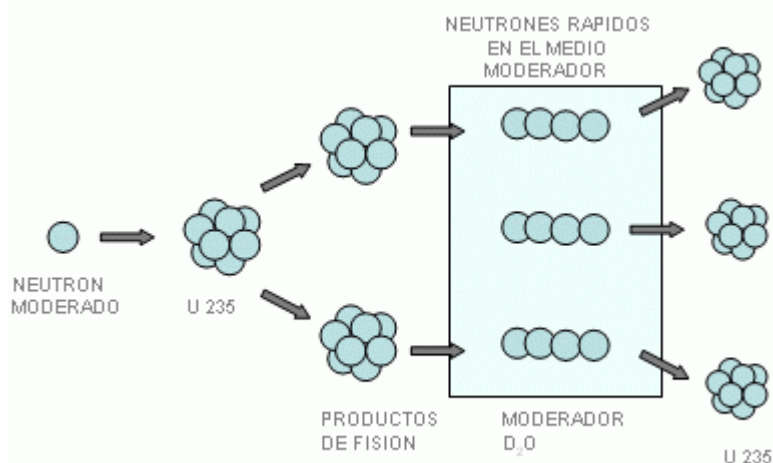
La Energía Nuclear es la que se halla encerrada en todos los Núcleos Atómicos y surge gracias a la propiedad que poseen las partículas subatómicas, como Neutrón y Protón, de atracción mutua al encontrarse tan cerca como las distancias de sus diámetros.

La fuerza nuclear (fuerza de atracción entre las partículas del núcleo), es tan relevante que un fenómeno tal como la Fisión Nuclear hace que la energía de amarre sea liberada.

En la Fisión Nuclear, al partirse el núcleo surgen de 2 a 3 Neutrones, Radiación Gamma, neutrinos y dos núcleos más pequeños que el original (productos de fisión). La cantidad de energía que se obtiene en dicho caso, se mide mediante el uso de la fórmula de Einstein  $E=mc^2$ , en la cual E representa la energía producida, m la masa participante en el proceso y c la velocidad de la luz (300.000 km/seg) elevada al cuadrado. La energía por unidad de masa desempeña un papel relevante.

La cantidad de masa que se transforma en energía, está dada por la diferencia que existe entre la suma de las masas del Neutrón y del núcleo original y la suma de las masas de los 2 o 3 Neutrones y de los restantes componentes que se generan durante el proceso de fisión. Por lo tanto, el núcleo original pesa más que los núcleos y partículas residuales juntas.

### PROCESO SIMPLIFICADO DE LA FISION NUCLEAR



Generalmente, los Reactores Nucleoeléctricos contienen miles de tubos metálicos de Zirconio, los cuales interiormente poseen pastillas de Oxido de Uranio con diferentes grados de enriquecimiento. Estos son arreglados en conjunto, que denominamos ensamblajes de combustible y son colocados dentro del Reactor.

A lo largo del primer arranque del reactor, junto a los ensamblajes de combustible, encontramos las fuentes emisoras de Neutrones (el fósforo para iniciar la fisión nuclear). Dentro del mismo y cercano a los ensamblajes de combustible se localizan las Barras de Control, las cuales son de Boro o de Cadmio, y al ser desplazadas entre los ensamblajes, incrementan o disminuyen la absorción de Neutrones, pudiendo cambiar la población de éstos.

Para comenzar la reacción de fisión es necesario extraer las Barras de Control, consiguiendo que los Neutrones lleguen a las pastillas de Oxido de Uranio y sean absorbidas por el Núcleo del U-235, adquiriendo una gran inestabilidad que le permite partirse; apareciendo a una alta velocidad promedio (2.5 Neutrones), Radiación Gamma y usualmente dos productos de fisión. Estos contienen Energía Cinética, los cuales al ir atravesando la materia de la pastilla producen fricción, generando calor, el cual trata de conducirse al exterior incrementando la temperatura de la pared metálica de Zirconio. Este calor al resultar extraído en forma permanente con agua u otro fluido, se obtiene un flujo continuo de calor.

A los Neutrones rápidos que surgen en la fisión, es preciso disminuirles su velocidad o bien moderarlos de forma tal que se incremente la probabilidad de fusionar a otros núcleos U235, y de esta manera poder alcanzar una reacción en cadena.

Si continuamos con el proceso de extracción de Barras de Control las fisiones se incrementarán cada vez más, alcanzándose a sostener en una reacción en cadena. Es decir, se da un punto, en que al no extraer más Barras de Control, la reacción nuclear se autosostendrá; el Reactor ha adquirido su primera criticidad y se declara el Reactor arrancado.

De aquí en adelante, al extraer solamente Barras de Control el flujo de calor aumenta, con lo que la pared metálica de Zirconio y el agua refrigerante elevan su temperatura hasta que la misma obtiene condiciones de saturación y de esta forma producir vapor dentro del Reactor y directamente dirigirlo al Turbogenerador. Denominamos a este esquema como Ciclo Directo de Reactor de Agua Hirviendo (BWR); en caso inverso si el agua se presuriza y se frena la posibilidad de que hierva dentro del Reactor, pero se traslada este calor a un Generador de Vapor pudiendo hervir agua de otro circuito, dicho vapor resultante moverá el Turbogenerador. Este es llamado el esquema de los prototipos de Reactores de agua presurizada PWR o de agua pesada PHWR.

#### Clasificación de los Reactores

Según su uso	Investigación Producción de radioisótopos Producción de energía eléctrica Propulsión naval Reproductor de combustible
Según la disposición del combustible	Heterogéneos: combustible en barras Homogéneos: combustible disuelto en el moderador (en forma de sulfato de uranio $UO_2SO_4$ - disuelto en agua liviana actuando de moderador y refrigerante. Posee grandes problemas tecnológicos y de seguridad)
Según el tipo de combustible	Uranio natural (99.3% y 0.7% $U_{235}$ ) $U_{235}$ $U_{233}$ $PU_{239}$
Según el moderador	$H_2O$ $D_2O$ Grafito Berilio Compuestos orgánicos (difenilo)
Según el fluido refrigerante	Líquidos: $H_2O$ , $D_2O$ , orgánicos Gaseosos: Aire, $CO_2$ , Helio Metales Fundidos: Na, Aleaciones Na, K Pb
Según el recipiente del núcleo del reactor	Recipiente de presión de acero Reciente de presión de hormigón pretensado Tubos de presión
Según el aspecto neutrónico del reactor	Térmicos (con moderador) Intermedios (moderación restringida) Rápido (sin moderador)

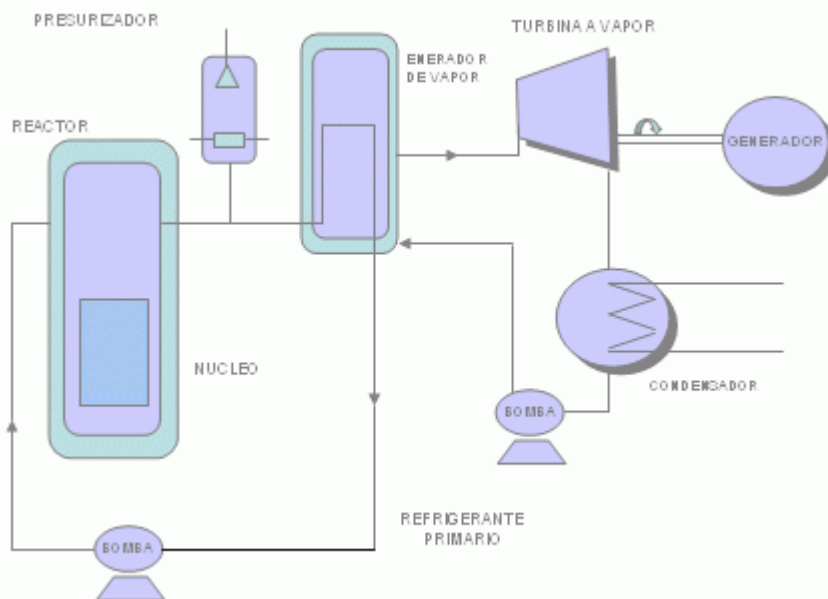
## Descripción de Reactores de Potencia

### Reactor PWR Pressurized Water

Este reactor de agua presurizada al ser desarrollado estaba destinado para equipamiento de los submarinos atómicos del tipo Nautilus; pero ha sido tan satisfactorio su resultado que derivó en su utilización en centrales nucleares.

En el gráfico puede observarse un esquema simplificado de una central PWR. La misma está compuesta por un recipiente de presión y en el interior de este se encuentra alojado el núcleo propiamente dicho. El combustible es uranio enriquecido al 2% o 3% y se encuentra moderado y refrigerado por agua natural conservada a presión.

El agua del circuito primario calentada dentro del núcleo por el proceso de fisión es enviada a un generador de vapor en el cual cede calor al agua del circuito secundario, regresando luego al recipiente de presión a través de la acción de una bomba impulsiva, siendo completado de esta forma el circuito primario.



El vapor generado en el generador de vapor alimenta al turbo alternador, siendo luego enviado al condensador de vapor, el cual es realimentado al generador mediante una bomba.

En función de la potencia de la central es el tamaño del recipiente del reactor. El diámetro interior puede variar de 3.3m para una central de 500 o 600 MW hasta 4.4m para 1000 o 1100 MW, al igual que el espesor, el cual varía entre 10 y 130 mm. La altura total es de unos 13m.

Al recipiente de presión se conectan los conductos del circuito primario de refrigeración, los cuales se introducen por la parte superior de la porción cilíndrica del recipiente. El agua refrigerante es forzada a descender a la porción inferior del mismo a través de un espacio entre la pared interna y el tambor de soporte del núcleo, ascendiendo luego a través de los canales de refrigeración en los cuales se encuentran los elementos de combustibles, para poder finalmente surgir por el orificio de salida en dirección al generador de vapor.

Al circuito primario de refrigeración se articula el sistema presurizador que consiste en un recipiente cilíndrico vertical en cuya parte inferior se hallan insertadas resistencias eléctricas de calefacción, mientras que la parte superior se encuentran unas boquillas de aspersión de agua fría a presión.

Durante la operatoria, cuando la presión desciende por debajo de cierto nivel de manera instantánea se conectan las resistencias eléctricas, vaporizando una cantidad de agua que restituye la presión al valor adecuado.

Si la presión es elevada por encima de un nivel prefijado, se genera un rociado de vapor con agua fría que ingresa por las boquillas de aspersión, generando una condensación de una porción del vapor que se encuentra en el presurizador, de esta forma, se produce un descenso de la presión.

La potencia del reactor es controlada a través de dos medios:

- 1- Barras absorbentes, las cuales generalmente son una aleación de Plata, Indio y Cadmio
- 2- Inyección de ácido bórico disuelto en agua.

El reabastecimiento de combustible se lleva a cabo con el reactor detenido, reemplazando anualmente un tercio de la carga y reordenándose el resto de manera conveniente a fin de optimizar el quemado. El

elemento combustible irradiado se deposita en una pileta de enfriamiento hasta que descienda lo suficiente su radiactividad como para permitir que sea reprocesado.

### **Reactor PHWR Pressurized Heavy Water**

Este reactor es similar al PWR, excepto que en éste el combustible utilizado es Uranio natural (0.7% de  $U_{235}$  y 99.3% de  $U_{238}$ ) y el fluido que circula en el circuito primario es agua pesada (Central Atucha I y II). Asimismo la carga de combustibles se realiza durante la operación normal de la Central.

### **Reactor BWR Boiling Water**

En éste es utilizado uranio enriquecido como combustible con un grado que usualmente oscila alrededor del 3%. Como moderador y refrigerante se utiliza agua liviana.

En el sistema de ciclo directo, el vapor que se genera dentro del mismo es direccionado a la turbina y desde allí al condensador. El condensado se dirige luego a un sistema de purificación conformado por resinas de intercambio iónico de lecho mezclado y desde aquí es bombeado de manera directa hacia el reactor.

En el reactor, el agua de alimentación se agrega a la mezcla bifásica agua-vapor que es obligada a recircular a través del núcleo por bombas toberas que se encuentran en la periferia alrededor del mismo en el interior del recipiente del reactor.

Para alimentar a las bombas toberas existen dos bombas centrífugas que toman una fracción del agua de circulación del recipiente del reactor y posteriormente la restituyen a una presión superior a las bombas toberas. A veces se utiliza el sistema de ciclo indirecto, en el cual el vapor generado por el reactor alimenta intercambiadores de calor, dentro de los cuales se origina vapor secundario que alimenta la turbina.

Una tercera solución está dada por aquella en la que una parte del vapor formado en el reactor alimenta en forma directa a la turbina, mientras que el resto se dirige a intercambiadores de calor donde se genera vapor secundario, que también alimenta la turbina. El vapor se dirige luego al condensador y el condensado regresa al reactor y al intercambiador a través de una misma bomba.

El núcleo del reactor reside en una cantidad de elementos combustibles agrupados en una configuración cuya periferia tiende a adoptar la forma cilíndrica.

Cada elemento combustible posee unas 36 o 49 barras de combustible en una matriz cuadrada de 6x6 o 7x7 barras respectivamente. Estas tienen un diámetro exterior de unos 14 mm y se encuentran conformadas por un tubo de zircloy-2, el cual contiene en su interior pastillas sinterizadas de  $UO_2$  (dióxido de uranio) con un promedio de enriquecimiento de 2.25% en  $U_{235}$ .

Los elementos combustibles se encuentran espaciados por canales separadores de Zircaloy-4 (aleación similar a zircaloy-2 pero sin Níquel y contenido de hierro algo superior). Estos permiten alojar las barras cruciformes de control, cuyo material absorbente es carburo de Boro, accionadas por mecanismos hidráulicos. Las barras ingresan por la parte inferior del reactor. En los canales de refrigeración se introduce además una lámina de material absorbente, como por ejemplo boro, el cual se halla disperso en acero inoxidable de una concentración variable para lograr un achatamiento en la distribución del flujo neutrónico en la dirección vertical durante el primer período de operación.

Los canales separadores se dilatan hacia la parte superior del reactor a fin de facilitar las maniobras de carga y descarga de combustible.

Todo este conjunto se halla inserto en un recipiente de presión diseñado para soportar una presión interna de unos  $90 \text{ kg/cm}^2$  a  $310^\circ\text{C}$  aproximadamente.

Dicho recipiente contiene una forma cilíndrica con base semiesférica, estando fabricado en acero de bajo carbono, el cual se encuentra recubierto en su interior con una capa de unos 7 mm de acero inoxidable austenítico.

Dentro del recipiente, el agua fluye hacia arriba y al atravesar los elementos combustibles se evapora en forma parcial, constituyendo una mezcla bifásica (líquido-vapor) que obtiene la cavidad de salida del núcleo con un contenido del 60% aproximado de vapor en volumen.

Posteriormente, la mezcla de vapor y agua atraviesa los separadores de configuración anular, en los cuales por deflexiones múltiples, es secado hasta alcanzar un contenido de humedad menor a 0.1% en peso. Este vapor alimenta en forma directa la etapa de alta presión de la turbina.

Con el propósito de prevenir eventuales fallas en los mecanismos de las barras de control y para casos de emergencia, se adiciona un sistema de inyección automática de una solución de pentaborato de Sodio, la que es posible ser bombeada directamente a la región del núcleo dentro del recipiente de presión, con capacidad de vencer una presión interna que equivale a la presión del reactor.

Existe otro elemento auxiliar que es el sistema de rociado del núcleo, el cual tiene por objetivo enfriarlo en el caso de que se produzca un accidente que origine pérdidas importantes de agua, permitiendo la condensación del vapor que escaparía y evitando de esta manera incrementos excesivos de presión.

El abastecimiento del combustible se realiza con el reactor detenido. Con el objeto de proporcionar blindaje durante la manipulación de los elementos irradiados, el recipiente del reactor se encuentra dentro de una especie de pozo que puede ser inundado

En la parte superior del pozo se encuentra conectado a través de una compuerta con una piletta de almacenaje que existe dentro del recinto de confinamiento, en el cual el combustible permanece hasta que su radioactividad haya descendido lo suficiente como para que pueda ser trasladado a la planta de procesamiento.

La turbina posee, como en la mayoría de las centrales nucleares, un cuerpo de alta presión y dos o tres de baja presión o doble flujo de vapor.

### **Reactor HWR Heavy Water**

Estos reactores, de manera similar que los PHWR, son alimentados con Uranio natural y moderados y refrigerados con agua pesada. La diferencia entre el PHWR y el HWR se basa en que el primero contiene recipientes a presión, mientras que el segundo está construido según el sistema de tubos a presión (Candú-Central Embalse).

### **Reactor GCR Gas Cooled**

Este reactor utiliza uranio como combustible y está moderado con grafito. El refrigerante que se utiliza puede ser helio o dióxido de carbono, siendo preferente la mayoría de las veces el último debido a que resulta más económico.

El núcleo está constituido por un apilamiento de bloques de grafito en forma de paralelepípedos de base cuadrada o hexagonal.

En el centro de éstos se realizan perforaciones longitudinales que conforman los canales de refrigeración a una presión de unos 8 kg/cm<sup>2</sup>, siendo la temperatura de salida de aproximadamente 340°C. El gas caliente se envía a un intercambiador de calor en el cual se vaporiza y cuyo vapor es posteriormente utilizado para accionar un grupo turbo alternador.

Las vainas de las barras combustibles deben ser dotadas de aletas con el fin de facilitar la evacuación de calor.

Dado que estos reactores son de gran volumen, resulta oneroso hacer los recipientes de acero; por lo que se ha recurrido a la fabricación de recipientes de hormigón pretensado. El costo de instalación de los CGR es muy elevado, razón por la cual han sido dejados de utilizar, no obstante han originado una nueva generación de reactores como los AGR (Advanced Gas Cooled Reactor), en los cuales se utiliza uranio enriquecido (aproximadamente 1.5%) y son incrementan temperaturas y presiones de trabajo.

### **Reactores Avanzados**

Estos nuevos diseños han incorporado mejoras de seguridad, con mayor tiempo para la toma de decisiones de seguridad, mayor protección ante la posibilidad de liberación de radioactividad hacia el medio ambiente y seguridad pasiva basada en fuerzas naturales como convección, gravedad, etc., disminuyendo así la dependencia del sistema y componentes activos como bombas y válvulas de suministro de corriente eléctrica.

Se dividen en Evolutivos (derivan de las mejoras realizadas a los reactores actuales) y Desarrollo que se basan en nuevos conceptos.

Los tipos de diseños básicos de reactores avanzados son: refrigerados por agua, refrigerados por gas y rápidos.

### **Refrigerados por agua ALWR, ABWR, etc.**

Mejoras generadas:

- Diseño de unidades grandes y medianas con mejores dispositivos de seguridad pasiva.
- Reciclado de Plutonio mediante combustibles mezcla de óxidos.
- HWR tipo CANDU: incremento de la vida útil a 100 años y disminución del tiempo de fabricación.

### **Refrigerados por gas HTGR**

- No tiene aún pleno éxito en la explotación
- Son moderados por grafito con un gas (helio) como refrigerante
- El gas inerte y el diseño del combustible admite su funcionamiento a elevadísimas temperaturas (mejorando la térmica del reactor).

- El combustible se conforma de partículas (0.2 a 0.6 mm) de mezclas de óxidos de Uranio o Torio. Cada partícula está revestida en capas de material cerámico, las cuales se dispersan en la matriz del grafito.
- Las partículas se mantienen intactas y retienen la mayor parte de los productos de fisión.
- Se efectúan estudios sobre modificaciones en el ciclo de la turbina a gas (el gas a una elevada temperatura se traslada directamente a la turbina mejorando la eficiencia).

### **Rápidos o reproductores**

Debido a la comprensión de los problemas estratégicos de los reactores convencionales, especialmente la limitación determinada por el tamaño de las reservas de uranio, en la década del 40 se ha comenzado a trabajar sobre un diseño de reactor con capacidad de realizar procesos de fisión de manera que además de producir energía térmica se puede obtener al menos, una cantidad de material fisionable equivalente a la que se disponía al inicio del proceso.

Este tipo de reactor se basa en que si bien las formas más abundantes de uranio y del torio no son fisionables, es decir se pueden convertir por captura de neutrones en las especies fisionables plutonio y uranio respectivamente. En condiciones de operación correcta, es factible lograr que en una reacción en cadena se genere más material fisionable que el que es destruido, por lo que el sistema trabaja en condiciones de reproducción (breeding).

La condición de reproducción para el ciclo uranio-plutonio es posible establecerse con neutrones rápidos y por ende, a los reactores basados en este esquema se los conoce como reproductores rápidos (FBR: Fast Breeder Reactor).

La importancia de los reactores reproductores se debe a que a través de su utilización, la cantidad de reservas de material fisionable se incrementará marcadamente (70 veces), permitiendo de esta manera satisfacer la necesidad del planeta durante más de dos siglos.

Encontramos dos tecnologías para la construcción de FBR: la que emplea como fluido de refrigeración un metal (generalmente sodio), en estado líquido, y la que utiliza para esos fines un gas noble, usualmente helio.

Aunque la tecnología de los LMFBR es la que se encuentra en estado más avanzado, el diseño del GCFBR presenta ventajas destacables como mayor eficiencia, diseño más simple, mayor margen de seguridad y mejores condiciones de mantenimiento. Por otra parte, las exigencias de bombeo de fluidos junto a las facilidades auxiliares, determinan que este diseño pueda únicamente ser competitivo desde la óptica económica con el anterior en emprendimientos del orden del GW.

Los reactores reproductores poseen, habitualmente, la considerable desventaja de producir plutonio, material de un elevado contenido de contaminación, generando resistencias políticas a su instalación para su potencial empleo en la construcción de bombas nucleares.

Las medidas de seguridad ambiental y estratégica que la reproducción de estos reactores exigiría crear, representan un costo no claramente evaluado, el cual debería ser seriamente considerado.

Aunque los FBR aún no entraron en su etapa comercial, existen en determinados países industrializados prototipos de demostración basados en el diseño LMFBR, con potencias entre 15 y 200 Mw.

La característica más importante de un "reactor autorregenerativo" se basa en la producción de una mayor cantidad de combustible del que utiliza, fomentando para ello la absorción de los neutrones sobrantes por un denominado material fértil.

Encontramos varios sistemas de reactor autorregenerativo que son técnicamente factibles. El más interesante utiliza uranio 238 como material fértil. Cuando el uranio 238 absorbe neutrones en el reactor, se transforma en un nuevo material fisionable, el plutonio, mediante un proceso nuclear conocido como desintegración B (beta).

En la desintegración beta, un neutrón del núcleo se desintegra para generar a un protón y una partícula beta.

Cuando el plutonio 239 absorbe un neutrón, puede generarse por fisión, liberando un promedio de unos 2.8 neutrones. En un reactor que se encuentra en funcionamiento, uno de esos neutrones es requerido para generar la siguiente fisión y conservar la reacción en cadena.

Un promedio de 0.5 neutrones son perdidos por absorción en la estructura del reactor o el refrigerante; mientras que los restantes pueden ser absorbidos por el uranio 238 para la generación de una mayor cantidad de plutonio.

A fin de maximizar la producción de plutonio 239, se debe conservar una alta velocidad de los neutrones que originan la fisión, con una energía similar o menor que la que poseían al ser liberados. El reactor no puede poseer ningún material moderador, como el agua, que pueda frenar los neutrones. El líquido refrigerante preferido es un metal fundido como el sodio líquido, el cual posee muy buenas propiedades de transferencia de calor; funde a unos 100°C y no hierve hasta que alcanza los 900 °C. No obstante entre sus principales desventajas encontramos: su reactividad química con el aire y el agua, y el elevado nivel de radiactividad que se induce en el sodio dentro del reactor.



En un diseño para una central RARML de gran tamaño, el núcleo del reactor se encuentra constituido por miles de tubos delgados de acero inoxidable que poseen un combustible compuesto por una mezcla de óxido de plutonio y uranio: un 15% o un 20% de plutonio 239 y el resto uranio. El núcleo está rodeado por una región denominada capa fértil, que contiene barras semejantes llenas únicamente de óxido de uranio. Todo el conjunto de núcleo y capa fértil mide unos 3 mts de alto por unos 5 mts de diámetro, el cual se halla montado en una gran vasija que posee sodio líquido que sale del reactor a unos 500 °C. Esta vasija además contiene las bombas e intercambiadores de calor que colaboran a eliminar calor del núcleo. El vapor se produce en un circuito secundario de sodio, encontrándose separado del circuito de refrigeración del reactor (radiactivo) por los intercambiadores de calor intermedios de la vasija del reactor. Todo el sistema del reactor nuclear se encuentra situado en el interior de un gran edificio de contención de acero y hormigón.

El RARML genera alrededor de un 20% más de combustible del que consume. En un reactor grande, a lo largo de 20 años se genera combustible suficiente para cargar otro reactor de similar energía. En este sistema se aprovecha aproximadamente el 75% de la energía comprendida en el uranio natural, frente al 1% obtenido en el RAL.

## Centrales Nucleares Argentinas

### Central Nuclear Atucha 1

#### REACTOR

Tipo	PHWR- Recipiente de presión Agua Pesada
Potencia Térmica	1179 MW
Moderador	D <sub>2</sub> O
Refrigerante	D <sub>2</sub> O
T. Media de Refrig.	262 °C
T. Media del Moderador	185°C
Caudal Refrig.	10.000 t/h (por cada circuito)
Presión Primario	115 ata
Cantidad de combustible en el núcleo	38.6t de uranio en forma de UO <sub>2</sub> contenidos en 253 EC
Quemado de Extracción de los E.C.	6000 MW D/t U
Control y Seguridad	29 Barras de Hafnio.

#### TURBINA

Tipo	De vapor, Saturado Eje Unico, Una etapa presión y tres de baja, Todas de doble flujo
Velocidad	300 r.p.m
Caudal de Vapor	1856 t/h
Presión de Vapor	44 ata
T. Vapor Vivo	254.9°C
Caudal Agua de Refrig. Condensador	62500 m <sup>3</sup> /h

#### SISTEMA DE GENERACION ELECTRICA

Tipo	Trifásico-2 Polos
Pot. Aparente	425 MVA
Pot. Eléctrica Bruta	357 MW (Trio:22°C)
Pot. Neta	335 MW (Trio:22°C)
Tensión de Salida	21 Kv
Factor de Pot.	0.8
Refrigeración	Hidrógeno

### Central Nuclear Embalse

#### REACTOR

Tipo	Candu-D <sub>2</sub> O Presurizada. Tubos de presión. Tubos de presión horizontales.
Potencia Térmica	2.109 MW
Moderador	D <sub>2</sub> O
Refrigerante	D <sub>2</sub> O
Temperatura media del refrigerante	288°C
Presión media del refrigerante	112 Kg/cm <sup>2</sup>

Cantidad de canales de refrigeración	380
Combustible	Uranio Natural (UO <sub>2</sub> ), con recarga durante la operación
Cantidad de combustible en el núcleo	84 t de Uranio (UO <sub>2</sub> ) contenidos en 4560 E.C. (12 E.C por Canal)
Tiempo de promedio de residencia del combustible en el núcleo	288 días de plena potencia
Quemado de extracción	7.500 MWd/t
Elementos combustibles por canal	12
Potencia lineal máxima	42 W/cm

#### TURBINA

Tipo	De vapor, De eje único, En Tandem con 2 recalentadores/Separadores de humedad
Etapas	1 de alta presión, 3 de baja presión
Velocidad	1.500 r p m
Presión de vapor	46.2 Kg/cm
Caudal de vapor	3.366 t/h
Capacidad de Bypass	65% de plena potencia en forma permanente
Salto térmico en el condensador	Max.7°C
Caudal total de refrigeración	163.800 m <sup>3</sup> /h

#### SISTEMA DE GENERACION ELECTRICA

Tipo de generación	Trifásico, 4 polos
Potencia aparente	763.53 MVA
Potencia eléctrica bruta	648 MW
Consumo propio	48 MW
Tensión de salida	22 KV+/- 5%
Cos	0.85
Frecuencia	50 Hz
Refrigeración	Estator refrigerado con agua; Rotor refrigerado con H <sub>2</sub>
Excitación	Sistema estático; Rectificadores de Silicio controlados

### Central Nuclear Atucha 2

<b>DATOS GENERALES</b>		
Tipo: Reactor de agua pesada presurizada		
Potencia eléctrica bruta	745	MW
Consumo propio	53	MW
Eficiencia	32.0	%

<b>SISTEMA PRIMARIO</b>		
Potencia Térmica del Reactor	2.161	MW
Cantidad de circuitos	2	
Medio Refrigerante	Agua pesada	
Presión del refrigerante a la salida del reactor	115	BAR
Temperatura del refrigerante a la entrada del reactor	277.7	°C
Caudal del refrigerante	10.344	Kg/s
<b>SISTEMA MODERADOR</b>		
<b>MEDIO</b>	Agua pesada	
<b>CANTIDAD DE CIRCUITOS</b>	4	
<b>CAUDAL</b>	892	Kg/s
<b>NUCLEO DEL REACTOR</b>		
<b>TIPO DE COMBUSTIBLE</b>	Dióxido de Uranio Natural	
<b>CANTIDAD DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES</b>	451	
<b>CANTIDAD DE BARRAS DE CONTROL</b>	18	
<b>CARGA TOTAL DE URANIO NATURAL</b>	85	
<b>QUEMADO MEDIO DE EXTRACCION DE LOS EC</b>	7.500	MW d/M
<b>ALMACENAJE DE ELEMENTOS</b>		

<b>COMBUSTIBLES</b>		
<b>CAPACIDAD DE LA PILETA DE EC QUEMADOS</b>	8+1	NUCLEOS
<b>ESFERA DE CONTENCIÓN</b>		
<b>PRESIÓN/TEMPERATURA DE DISEÑO</b>	4.8/145	BAR/°C
<b>DIAMETRO INTERNO</b>	56	M

<b>SISTEMA SECUNDARIO</b>		
<b>TURBINA</b>		
Diseño: De Condensación; Eje único; 1 etapa de alta presión de doble flujo; 2 etapas de baja presión de doble flujo		
Velocidad de rotación	1500	r.p.m
<b>GENERADOR</b>		
Potencia aparente	838	MVA
Tensión de generación	21 Kv	+5%
<b>CICLO TERMICO</b>		
Temperatura de agua de alimentación	121	°C
Presión del vapor vivo a la salida del generador de vapor	54.9	Bar
Caudal de vapor vivo agua de alimentación	957	Kg/s
Bombas de agua de alimentación: -Cantidad	3*50%	
Bombas de condensado-Cantidad	3*50%	
<b>AGUA DE REFRIGERACIÓN PRINCIPAL</b>		
<b>CANTIDAD DE BOMBAS</b>	3*33%	
<b>TURBOGRUPO HIDRAULICO (POTENCIA APARENTE)</b>	10	
<b>GENERADORES ELECTRICOS DE EMERGENCIA</b>		
<b>CANTIDAD DE GENERADORES</b>	4*50%	

## Algunos Conceptos Básicos

### El Átomo

El átomo está conformado por un pequeño núcleo, cargado positivamente, rodeado de electrones. El núcleo, que posee la mayor proporción de la masa del átomo, se encuentra constituido además por neutrones y protones unidos por fuerzas nucleares muy intensas, muy superiores a las fuerzas eléctricas que unen los electrones del núcleo. El número másico A de un núcleo representa el número de nucleones (neutrones y protones) que contiene; el número atómico Z que es el número de protones, partículas con carga positiva.

La energía de enlace de un núcleo mide la intensidad con que las fuerzas nucleares conservan unidos a los protones y neutrones. La energía de enlace por nucleón depende del número másico A. La curva de las energías de enlace implica que si dos núcleos ligeros, que ocupan posiciones muy bajas en la tabla, se fusionan para conformar un núcleo de mayor peso (o un núcleo pesado que ocupa posiciones muy altas en la tabla, se divide en dos de peso menor), los núcleos que resulten estarán unidos con mayor fuerza, por lo que se libera energía.

### Isótopo

Constituye una de las dos o más variantes de un átomo que poseen el mismo número atómico, conformando por lo tanto, el mismo elemento, pero difieren en su número másico. Dado que el número atómico es equivalente al número de protones en el núcleo, y siendo el número másico la suma total de protones y neutrones en el núcleo; los isótopos del mismo elemento difieren entre ellos únicamente en el número de neutrones que poseen.

- **Fisión:** Cuando la masa del núcleo es superior a los fragmentos en los cuales es capaz de dividirse, se dice que es inestable frente a la fisión, pudiendo ser subdividido. Esto es aplicable a núcleos cuyo número de masa es superior a 100. No obstante, para que el núcleo fisione debe adquirir una determinada energía interna, la cual resulta muy elevada cuando el número de masa es inferior de 210.
- **Reacción en cadena:** El resultado de fisionar uranio con un neutrón, además de generar otros elementos y energía, produce neutrones. Al ser éstos últimos los que iniciaron el proceso, puede lograrse una reacción en cadena.

Cuando los neutrones chocan sobre el uranio, algunos son absorbidos por el núcleo, el cual obtiene demasiada energía interna como para partirse, pudiendo originar:

- Productos de la fisión: El átomo se parte en 60 formas diferentes, determinando así un espectro posible de productos que son radiactivos.

- Energía: en gran cantidad  $E = m C^2$ .

- Neutrones: durante la fisión aparecen 2 o 3 neutrones a gran velocidad. Son llamados neutrones rápidos y permiten la reacción en cadena.

- Uranio natural: se conforma por 99.3% de  $U_{238}$  y 0.7% de  $U_{235}$ ; siendo éste último el que posee una mayor probabilidad de fusionar y esta aumenta al disminuir la energía de los neutrones, haciéndolos lentos.

- Neutrones térmicos: Son los neutrones lentos (en equilibrio con el medio en que se mueven) con elevada probabilidad de fisionar el  $U_{235}$ .

- Masa crítica: es el tamaño suficientemente grande como para que la fuga de neutrones alcance el equilibrio con la producción y así lograr una reacción en cadena estable.

- Moderador: Dado que el uranio natural es casi en su totalidad  $U_{238}$ , se debe elevar al más alto nivel la probabilidad de fisionar el  $U_{235}$ . Para ello los neutrones son termalizados con un moderador, haciéndolos chocar de manera elástica con otros núcleos que no los capturen.

## Centrales Térmicas

El alimento de estas centrales está constituido por los distintos combustibles sólidos (carbón mineral); líquidos (gas-oil y fuel-oil, originados en la refinación del petróleo crudo); y gaseosos (gas natural).

La energía eléctrica surge como consecuencia de la energía térmica de combustión.

La proximidad a un yacimiento de carbón, o a una refinería de petróleo o a un grupo industrial son algunos de los condicionantes del lugar donde estas centrales pueden ubicarse.

El vapor de agua producido en una caldera posibilita el funcionamiento de las turbinas de vapor (máquinas motrices) al hacer girar el eje de dichas máquinas.

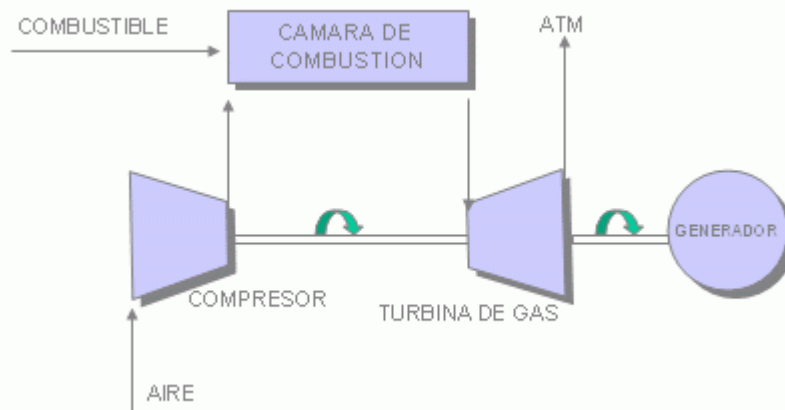
En el caso de que las turbinas sean accionadas por gas proveniente de la combustión del gas natural, gas de altos hornos o aceite de petróleo destilado, se trata de turbinas de gas.

### Turbinas a Gas

La idea de la turbina a gas recientemente ha adquirido importancia práctica. Durante la primera década de este siglo Holzwarth en Mulheim construyó una primitiva turbina que disponía en la periferia de varias cámaras de combustión, las cuales actuaban a través de un sistema de válvulas.

Estas lograron desarrollarse hasta alcanzar su completa madurez, logrando rendimientos térmicos totales del 20% aproximadamente.

Más tarde, con la aplicación de la tecnología utilizada en turbosoplantes de motores de aviación, turbo carga con gases de escape y los avances utilizados en las calderas Velox, arribamos a las modernas turbinas de gas, las cuales se basan en el siguiente esquema:



El compresor comprime aire desde la presión atmosférica hasta 4.6 ata (llegando hasta 30 ata). En la cámara de combustión se quema gas o combustible líquido pulverizado, de similar forma que en el hogar de una caldera, de forma continua y a presión constante. De esta forma se genera un incremento de la capacidad de trabajo del aire en la relación de las temperaturas absolutas antes y después de la combustión. Por lo expuesto, la turbina es capaz de generar más potencia que la necesaria, siendo el exceso potencia útil cedida al generador.

El rendimiento del proceso escala con la temperatura de la combustión, la cual se ve limitada por la sollicitación térmica de los álabes de la turbina; esta es la causa por la que la construcción de turbinas de gas está directamente vinculada al desarrollo de los materiales.

Según lo expresado, en el compresor el aire es comprimido hasta la presión de combustión, usándose luego en la cámara para quemar combustible (gas o líquido). Una porción del aire es utilizado para enfriamiento y control de la estabilidad de la temperatura, como de la propia llama.

Los gases que se generan por la combustión son distribuidos por la totalidad de la periferia de la primera fila de paletas y difundidos a lo largo de la turbina. Usualmente, esta primera etapa de expansión es conocida como turbina de alta presión; obteniéndose a través de las mismas el trabajo necesario para accionar el compresor. La siguiente etapa, llamada turbina de potencia, acciona el generador eléctrico.

Las unidades TG contienen como característica sobresaliente el tiempo de arranque, llegando a alcanzar la carga plena en 10-20 minutos.

Las mejoras implementadas en el diseño de materiales y componentes han permitido elevar la eficiencia y potencia térmica, lo cual adicionalmente al crecimiento a escala de las proporciones (dentro de ciertos límites), permitieron la utilización de la experiencia para construir diseños similares de mayor potencia.

En el diseño, el objetivo es alcanzar la mayor eficiencia a través de la utilización de combustibles de alta calidad y la reducción al mayor nivel posible de la contaminación.

Se valió así de la experiencia derivada de la tecnología de turbinas de aviones sumada a la desarrollada para turbinas de trabajo pesado.

Por otro lado, se ha implementado el concepto de múltiples combustores anulares, en función de la instalación, capacidad para quemar varios combustibles (gaseosos y líquidos), incluyendo líquidos de baja calidad, inclusive petróleo crudo o subproductos. Dicha variabilidad no se da en las turbinas más modernas, las cuales demandan combustibles de alta calidad para restringir el ataque químico a los álabes de la rueda motriz.

El sistema de combustible dual, permite el rápido cambio, bajo carga, de un combustible a otro, de manera automática o semiautomática.

Las turbinas más actuales poseen una temperatura de salida de los gases procedentes de los combustores de alrededor de 1200 °C, en comparación con los 1100°C de las turbinas relativamente más viejas; determinando de esta manera, un crecimiento de la eficiencia térmica del 10% aproximadamente.

El material de los álabes es tan aleado que apenas pueden ser considerados como aceros. Los componentes de las aleaciones son: Ni, Cr, Mo, Mn, V, Ta, Ti y Nb, sin embargo en la actualidad se utilizan materiales cerámicos.

La progresiva privatización del suministro eléctrico y la apertura del mercado de energía eléctrica en muchos países, se ha constituido en el motor de las importantes transformaciones tecnológicas.

En la actualidad, alrededor del 35% de la potencia habilitada anualmente corresponde a TG.

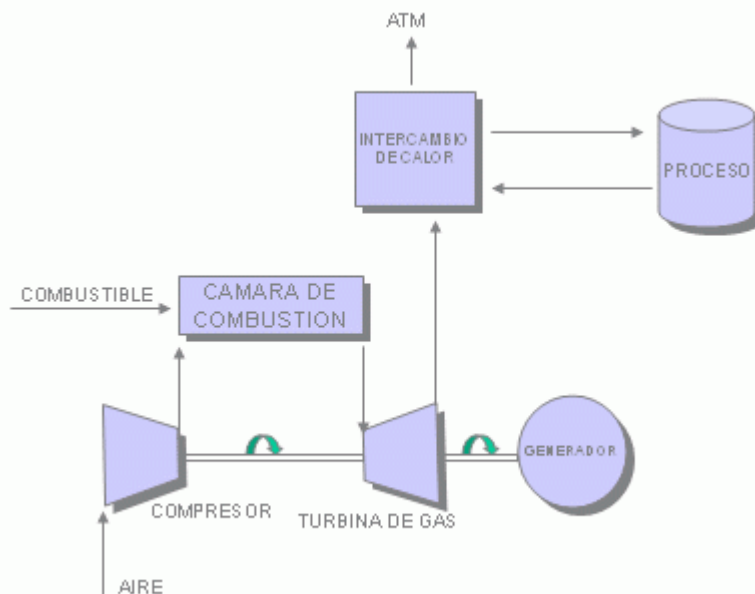
La creciente disponibilidad de reservas de gas ha estimulado una evolución atractiva de los precios.

Las turbinas a gas frecuentemente son utilizadas en combinación con turbinas a vapor en centrales de ciclo combinado, fundamentalmente por motivos económicos y ecológicos.

Las mismas permiten además la utilización de la importante energía comprendida en los gases de escape liberados a altísimas temperaturas, que de otra manera se verían dispersas en la atmósfera con la inclusión de una caldera de recuperación.

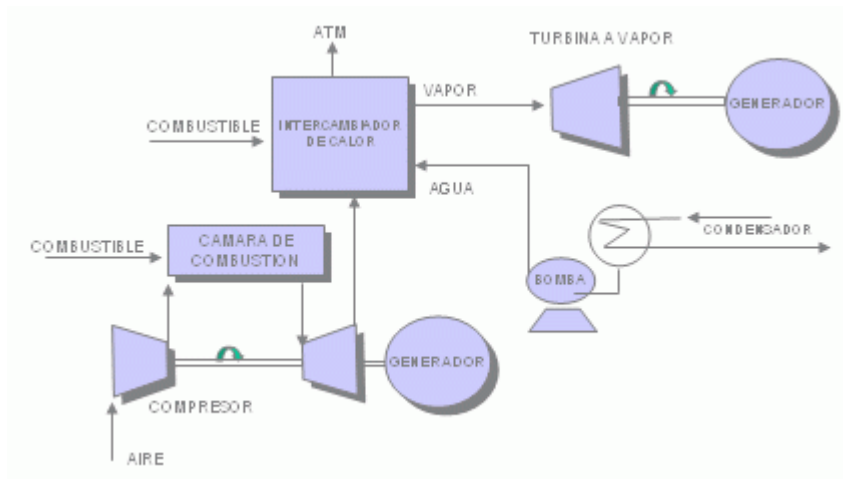
La combustión de la turbina trabaja en un combustible líquido o un gas.

Anteriormente, esto ha significado que las plantas de energía de ciclo combinado utilizaban solo petróleo o gas natural. No obstante, en la actualidad pueden operar con gas producido a través del carbón u otros combustibles sólidos.



### Ciclo Simple (Caldera Recuperación)

Las plantas más actuales que usan turbina a gas, aprovechan los gases de salida de la turbina en una caldera de recuperación y producen el valor necesitado por las turbinas de vapor para producción eléctrica adicional, obteniendo de esta manera el ciclo combinado. De forma complementaria, la caldera puede ser proyectada para quemar combustible adicional, disminuyendo relativamente su eficiencia, pero logrando un incremento de potencia.



**Ciclo Combinado**

Es una de las tecnologías más prometedoras que hay disponibles para producir energía eléctrica de manera económica, limpia para el ambiente y eficiente, mediante la utilización de cualquier combustible fósil económicamente disponible: gas natural, carbón o petróleo.

Una planta de energía de ciclo combinado, adopta una turbina de combustión con una turbina de vapor, operando ambas en una sola instalación para una eficiencia máxima.

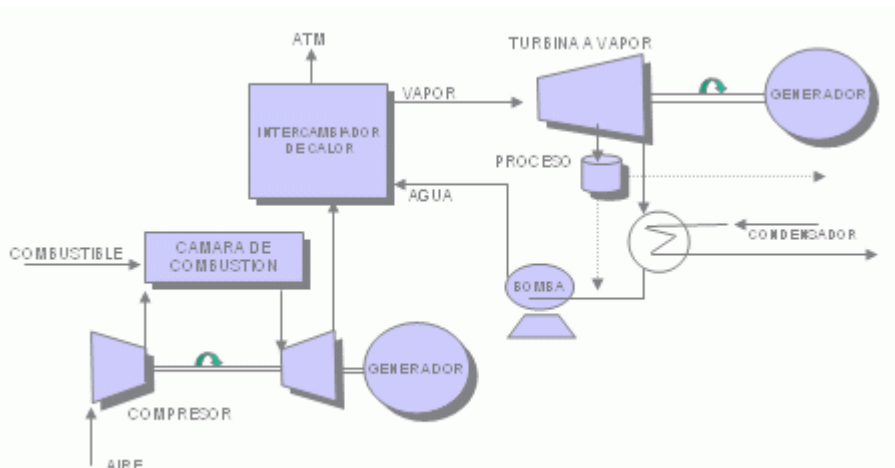
Los gases calientes de escape procedentes de la turbina de combustión en vez de ser ventilados a la atmósfera, se canalizan por un intercambiador de calor llamado generados a vapor recuperador de calor HRSG. El vapor generado en el HRSG arriba a la turbina a vapor a producir energía adicional.

La operación en ciclo combinado puede generar alrededor del 50% de potencia adicional e incrementar de 6 a 15% la eficiencia al ser comparada con plantas térmicas convencionales de combustible fósil y del orden de aproximadamente +20% en relación a las turbinas de gas a ciclo abierto.

Generalmente, por cada dos megawatts de energía producida por la combustión del generador TG, resulta factible obtener un megawatt por la turbina de vapor, utilizando fundamentalmente la energía del escape de la turbina de gas.

Características de los equipos de cogeneración

Además, se puede emplear parte de la energía térmica incluida en el vapor de extracción de la turbina de vapor del ciclo combinado, para alimentar los exigencias de un proceso industrial, en una instalación de cogeneración.



**Ciclo Combinado (Turbina Ext.)**

Las instalaciones de cogeneración a pesar de su baja flexibilidad operativa y dependencia del proceso industrial asociado a ellas, muestran un bajo consumo determinado, inferior al correspondiente a instalaciones similares cuyo destino exclusivo es la generación de electricidad. Resultando muy favorables para el suministro de energía a la red.

Su utilización abarca una conservación de recursos primarios, mayormente no renovables, variable según la instalación, y que puede ser por ejemplo del 30%; lo cual implica una reducción de la emisión de elementos contaminantes al medio ambiente.

## Turbinas a Gas

Actualmente, la sobrecapacidad de los fabricantes de turbinas gas, junto a la fuerte competencia por mercados nuevos (especialmente en Asia y Europa) han conseguido un derrumbamiento de los precios de las turbinas de gas y de las centrales de ciclo combinado (alrededor de un 50% en los últimos cinco años).

Los fabricantes se encuentran exigidos por el mercado al cumplimiento de los siguientes objetivos:

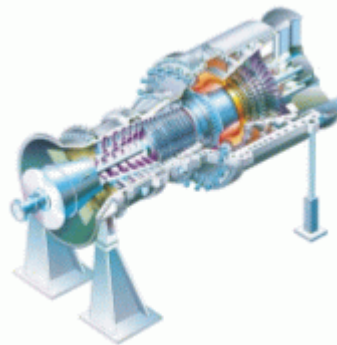
- Incremento de la potencia unitaria y de la potencia específica.
- Incremento de la disponibilidad y prolongación de la vida útil.
- Menores inversiones iniciales y reducción en los costos de mantenimiento.
- Mejoras de rendimiento global
- Disminución de la carga medioambiental
- Bajos costos de capital.

A dichos requerimientos los fabricantes respondieron con instalaciones que muestran:

- Elevados rendimientos en ciclos combinados, del orden del 54 al 58%.
- Elevados valores de confiabilidad y disponibilidad (alrededor del 95% de disponibilidad y 98% de confiabilidad)
- Reducido impacto ambiental. Los avances en el diseño del sistema han bajado las emisiones de NOx a 25 ppm para las nuevas temperaturas y este nivel puede disminuir 15ppm en un futuro cercano.
- Posibilidades de llevar a cabo el ciclo combinado en etapas, empezando por las turbinas de gas con sus alternadores, y en una etapa siguiente los generadores de vapor y la turbina a vapor con su alternador.

El aumento de la potencia unitaria y del rendimiento se logra operando sobre el proceso mismo de la turbina a gas y sobre los parámetros del mismo. En el proceso clásico de las turbinas a gas, éste se logra a través del flujo másico, de la temperatura de admisión y de las correspondientes presiones.

Para lograr una turbina a gas un rendimiento térmico del 38% o del 58% en una central de ciclo combinado, es condición necesaria aumentar la temperatura de combustión ajustando la refrigeración de los componentes que conducen los gases de combustión. El incremento de consumo de aire de refrigeración conlleva el riesgo de NOx dado que se reduce el factor aire en la combustión primaria.



Gran parte de la tecnología utilizada para estos avances, es la aplicada en turbinas de aviación; la cual se basa en tres elementos fundamentales:

Algoritmos de computación para cálculos aerodinámicos muy eficaces que admiten analizar y diseñar configuraciones de álabes y otras partes de la turbina en el corto plazo, alcanzando diseños superiores.

Materiales altamente sofisticados que resisten temperaturas elevadas (de 2580 °F, 1417°C).

Efectivas técnicas de refrigeración de álabes.

Con el objetivo de alcanzar mayores rendimientos, se ha incrementado el diámetro de las fases de la turbina, obteniéndose acrecentamientos en el flujo del 25% en relación a modelos anteriores. El diseño de los álabes del compresor, desarrollado por las herramientas de computación, ha logrado minimizar pérdidas, maximizar el flujo y obtener mejores relaciones de compresión; disminuyendo por lo tanto las necesidades de refrigeración.

Un fabricante ha implantado un esquema de combustión secuencial, con dos cámaras de combustión, en una misma turbina; utilizando el aire comprimido en el ciclo dos veces antes de su descarga, plasmando de esta manera un ciclo de gas con recalentamiento; lo que lleva a una mayor eficiencia.



El mayor rendimiento recae en el aumento de la presión de compresión y en el uso de una combustión secuencial y no únicamente a través del incremento de la temperatura de entrada de los gases de combustión. Lo expuesto permite limitar dicha temperatura, solicitando materiales y diseños no tan sofisticados y por consiguiente un mantenimiento más económico. Desde 1990 el costo de las centrales de ciclo combinado ha disminuido, en función de ciertas razones que contienen:

Estandarización y mejoras en el diseño de las centrales por parte de los fabricantes.

Turbinas a gas con temperaturas superiores de quemado, y por lo tanto potencias mayores han derivado en una disminución de costos específicos.

Competencia del mercado; razón primaria de la búsqueda de mayores eficiencias

Distintos fabricantes provén turbinas de gas que trabajando en ciclo combinado logran eficiencias netas de 58%; siendo la tendencia en un futuro cercano, el alcance del rendimientos del orden del 60% (1430 kcal/kwh).

Actualmente existen desarrollos que permitirán lograr dichas eficiencias en turbinas de trabajo pasado operando en ciclo combinado. Este avance se fundamenta en la optimización del diseño del compresor, sistema de combustión y turbina, utilizando la experiencia desarrollada en turbinas de avión.

El compresor es construido a escala, con un factor de valor similar a 3, en relación a un compresor de turbina de avión de desempeño altamente comprobado.

El sistema de combustión se basa en un diseño modificado respecto de los combustores. Se incrementó el diámetro del mismo, en aproximadamente un 20%, con la finalidad de lograr los requerimientos de elevación de caudal.

La turbina es una construcción de última tecnología; habiéndose empleado en la primera fase álabes de aleación monocristalina y un novísimo desarrollo de recubrimiento de barrera térmica. La primera y segunda fase se refrigeran con vapor, la tercera con aire y la cuarta no se refrigera.

Al usar aire para enfriamiento de las turbinas y ser inyectado en el flujo de gases calientes, ocasiona turbulencias, las cuales implican pérdida de eficiencia y de potencia de salida. Mediante la utilización de vapor como elemento de refrigeración, ocasiona una disminución de perturbaciones en el flujo de gases calientes, que junto a la mejoría de materiales (aleaciones) y a los recubrimientos usados como barreras térmicas, admitirá lograr esas temperaturas de trabajo.

El vapor empleado se toma de la salida de la fase de alta presión de la turbina de vapor, se implanta en las partes fijas y móviles de la turbina a gas (en las móviles mediante los sellos del eje y el rotor), siendo luego recuperado y devuelto al ciclo de vapor.

Muchos expertos consideran que los grandes avances tecnológicos de turbinas de gas no se darán en el futuro, siendo una de las razones expuestas, que el aumento de la temperatura de los gases que llegan a la turbina podrían estar alcanzando un límite, dado que los materiales requeridos para soportar dichas temperaturas se encuentran en el límite de lo alcanzable. Por lo que resulta indispensable lograr una solución entre resistencia a la corrosión, fatiga mecánica y térmica.

Generalmente, las superaleaciones están basadas en níquel o cobalto, junto a otros materiales como cromo, molibdeno, tungsteno, titanio y aluminio.

Los fabricantes señalan que alguno de estos metales poseen capacidad para operar de manera confiable a temperaturas de algunos cientos de grados por debajo de su punto de fusión; no obstante la experiencia operativa con algunos modelos últimos de turbina de gas demuestra que muchos de los componentes de la misma que se encuentran en la vía de los gases de combustión, no logran el tiempo esperado de vida útil.

Algunos señalan que es factible reemplazar en sus turbinas álabes de rotores y vanos con el rotor colocado; otros ofrecen la inspección de la traza de gases de combustión sin recurrir a la apertura de la turbina; lo señalado permite inferir que las labores de mantenimiento de estas partes de la turbina serán mayores en la turbinas modernas.

Dada las limitaciones de la metalurgia, muchos fabricantes confían en mejorar los rendimientos de sus equipos a través del uso de materiales cerámicos, ya que admiten el trabajo con temperaturas superiores, permitiendo elevar la eficiencia y performance.

No obstante, antes que dichos materiales puedan ser utilizados como alabes de turbinas, es necesario mejorar su confiabilidad y su resistencia; como también se debe lograr una mejor comprensión de su comportamiento frente a la corrosión y una disminución de sus costos de fabricación. Por consiguiente, gran parte de los expertos admite que la producción en serie de componentes cerámicos no se dará a la brevedad.

Sumado a los nuevos materiales, el rendimiento de las turbinas a gas ha mejorado a través de las nuevas técnicas de fabricación. Específicamente, con el proceso de "solidificación direccional", utilizado en el fundido y moldeado del material vacío, se mejora la elasticidad longitudinal de las palas y su resistencia a la fatiga, admitiendo operar con temperaturas más elevadas, si bien será necesario que transcurra un largo período de operación a fin de comprobar dichas suposiciones.

Aún es posible conseguir un mayor aumento en la temperatura de trabajo y mejorar la resistencia a la fatiga, a través del uso de materiales monocristalinos; los cuales junto con el agregado de tratamiento

térmico, obtienen una homogeneidad superior y una estructura específica de material mejor. Dicho procedimiento se ha utilizado en las turbinas de aviación.

Su utilización en turbinas de gas estáticas solicita de mayores desarrollos (dado el tamaño, peso, menor pureza del combustible y el requerimiento de una mayor vida útil de las mismas).

Conjuntamente, fueron desarrolladas cubiertas protectoras de alabes y vanos de los ineludibles procesos de oxidación y corrosión generados a altas temperaturas de combustión; asegurando de este modo la integridad del material.

Las capas protectoras se han utilizado durante años en las turbinas de aviación de alto rendimiento, y generalmente poseen dos capas: la externa de cerámica, que por baja capacidad de conducción térmica, disminuye el flujo de calor al metal de la pala; y una capa interna de unión de la cerámica con el metal. Los dos dispositivos de falla de éstas son: el escamado, producido como consecuencia del shock térmico provocado por esfuerzos momentáneos incompatibles entre las superficies interna y externa del material cerámico, y el descascarado que se produce por el crecimiento de óxido en la capa de unión con el metal de base; el cual se origina por la difusión de oxígeno a través de la capa cerámica.

Como consecuencia de las restricciones referidas a la contaminación ambiental, los combustores de medida emisión de NOx se han convertido en uno de los fundamentales avances tecnológicos de turbina de gas; teniendo no obstante negativos impactos en el desempeño de éstas.

Se evidencian también problemas de inestabilidad de la llama causados por la necesidad de emplear mezclas aire-combustible más pobres que con los combustores de difusión convencionales. Por ello, se utilizan controles por computadora para obtener un control preciso de la mezcla aire-combustible. El premezclado representa un importante adelanto en lo que respecta a un eficiente quemado de combustible.

Lo expuesto, impone una mayor rigidez en la utilización de diferentes variantes de combustibles, dado que el diseño resulta óptimo para el uso de gas natural. Además, los recubrimientos protectores térmicos pueden ser susceptibles a las mínimas impurezas del combustible usado.

Esto provoca dudas respecto a la reputación de confiabilidad que han obtenido las modernas turbinas de gas.

El ciclado de las centrales exige mayores esfuerzos térmicos que la operación en régimen permanente, dado que los momentáneos de temperatura que surgen de los arranques y paradas, perjudican a los componentes del camino de los gases en combustión, originando fatiga termomecánica de los metales base.

Mientras que algunos fabricantes examinan avances tecnológicos de las turbinas a gas y ciclos combinados referentes con el incremento de la temperatura de combustión y el perfeccionamiento de los elementos de la turbina; otros utilizan enfoques diversos referidos a combinaciones de nuevos y sofisticados ciclos de combustión, tales como refrigeración intermedia del aire del compresor, precalentamiento de mezcla de combustible antes de ingresar a los combustores y ciclos que usan recuperación química.

En la turbina de aire húmedo, se combina vapor de agua con aire comprimido, el cual es llevado a los combustores y expandido con los gases de combustión, generando vapor que incrementa la masa que fluye por la turbina.

Este ciclo ha resultado moderadamente modificado para construir la avanzada turbina humidificada en cascada, en la cual la expansión del fluido humidificado se da a través de un sistema de cascada en dos fases de turbo expansores.

En estos momentos la potencia de las unidades de TG y CC se ha incrementado significativamente oscilando en valores de 55.16% (1560 kcal/KWh) en centrales de 660 MW en una configuración de dos TG, dos calderas de recuperación y una TV.

En lo que respecta a ciclos abiertos, si bien la tendencia son rendimientos aproximados de 39.5% (2180 Kcal/Kwh) y dada la competencia por obtener rendimientos menores requeridos para competir en mercados con precios cada vez menores, no se considera posible la aplicación de TG a ciclo abierto.

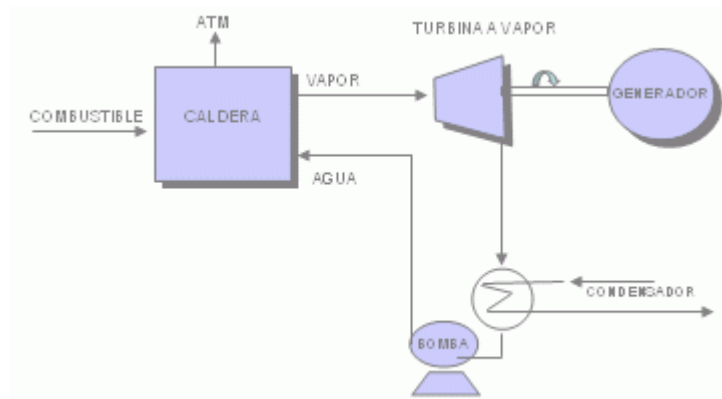
### **Máquinas de Combustión Externa**

Estas unidades usan como medio de trabajo, circulación de agua o de vapor de agua.

El agua estimulada por bombas centrífugas se vaporiza a una elevada presión en un generador de vapor. Simultáneamente, dentro del generador, el vapor se recalienta a una alta temperatura.

Posteriormente, este vapor se expande en una turbina en la cual se obtiene trabajo para accionar el generador eléctrico; el vapor ya expansionado se precipita en un condensador.

Luego el líquido condensado es inducido a través de bombas hacia los depósitos de agua de alimentación, del cual pasa nuevamente al generador de vapor.



## Rendimiento

El proceso de operaciones en las centrales térmicas es de carácter cíclico, o sea, que la energía se adquiere por alteraciones de estado periódicas del medio de trabajo. Resulta indistinto que las mismas moléculas participen siempre en el ciclo y en el proceso dinámico del vapor; o que nuevas moléculas intervengan en el mismo, como en el proceso abierto de las turbinas o en el motor de combustión.

Es relevante alcanzar sin interrupciones los mismos puntos de partida y final del proceso.

La Termodinámica se apoya en tres principios básicos, cuya validez es general.

### Primer principio: Conservación de la energía

La energía es inalterable, solo se deja convertir en otras formas de energía.

Se da una relación de transformación fija entre dos formas de energía. En un principio cíclico, la suma de todas las energías es nula.

### Segundo principio: Irreversibilidad de las transformaciones energéticas

Una máquina que opera periódicamente no puede hacerlo sin diferencia de temperatura.

Si en un proceso cíclico, a la temperatura absoluta  $T_1$  se mide la cantidad de calor aportada  $Q_1$ , y a la temperatura  $T_2$  la cantidad de calor aportada  $Q_2$ , tenemos:

$$Q_1/T_1 + Q_2/T_2 + \dots = 0$$

Este principio es válido definitivamente para todos los procesos naturales, no obstante en la forma expuesta, se utiliza únicamente para procesos alterables.

### Tercer principio

Si se lleva a cabo a través de cualquier sistema un proceso cíclico entre las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  y se brinda a la temperatura  $T_1$  la cantidad de calor  $Q_1$ , únicamente una fracción de la misma puede convertirse en trabajo mecánico. Otra cantidad de vapor  $Q_2$  ha de desprenderse pasando por ejemplo a un condensador. Dado que esto es una necesidad física, no tiene sentido hablar de pérdidas. El proceso cíclico capaz de brindar el máximo aprovechamiento de la cantidad de calor aportada ha sido descrito por Carnot. El mismo se compone de dos isotermas y dos isobaras.

La fracción de calor aprovechado es:

$$N = 1 - Q_2/Q_1 = 1 - T_2/T_1$$

Este proceso no es utilizado en la práctica, dado que para potencias mecánicas frecuentes determinaría poner en acción masas desproporcionadamente grandes. Sólo es empleado como término de comparación, dado que a través de él es capaz de alcanzar el máximo rendimiento entre dos temperaturas.

El segundo principio contiene un concepto destacable: la valencia del calor. Una caloría es tanto más valiosa cuanto más elevada es la temperatura a la que podemos utilizarla.

El ciclo de Carnot cede la cantidad de calor a la máxima temperatura y la extrae a la mínima.

En todo proceso que se aparte de éste, disminuye la proporción de calor transformado en energía mecánica.

El proceso dinámico del vapor responde al ciclo ideal cuando la extracción de calor es realizada en el extremo frío, no obstante no resulta de esta manera durante la aportación de calor, la cual se extiende sobre un amplio campo de temperaturas. Esto preside también en el proceso de turbinas de gas, pero en éstas la extracción de calor se expande de forma similar en un amplio campo de temperaturas.

Lo expuesto resulta más fácilmente comprensible al representar el proceso en diagramas.

El vapor de agua, en las condiciones usuales de funcionamiento de la técnica, no admite ser considerado como gas perfecto; no siguiendo por lo tanto las ecuaciones con las que opera la termodinámica.

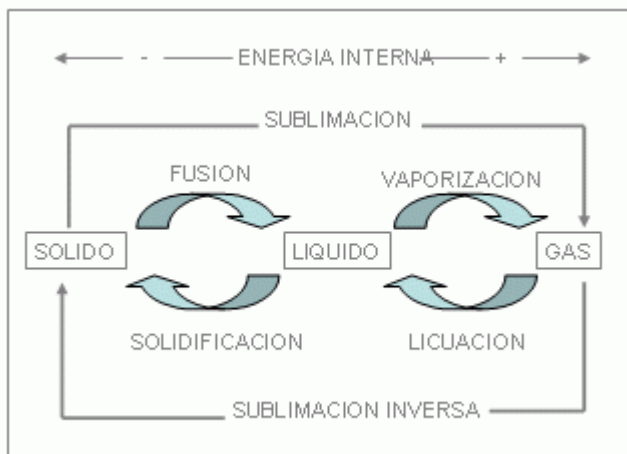
La mejor representación del proceso se obtiene a través del diagrama T, s (T = temperatura absoluta, s = entropía). La magnitud Q/T reflejada en el segundo principio adquiere una gran importancia termodinámica en función de la cual ha recibido la designación específica de entropía, que establece una magnitud de estado para todas las sustancias.

Para representar la capacidad de trabajo del vapor es conveniente utilizar el diagrama i, s, en el cual i es la entalpía, similar a la cantidad de calor aportada para modificaciones de estado isobáricas; llamado también contenido térmico.

### Propiedades del Vapor

El vapor es un sorprendente agente energético y térmico de variados usos en la industria. Contiene una serie de cualidades que lo convierten en un elemento muy apropiado para ser utilizado en procesos térmicos.

Los vapores poseen cualidades semejantes a los gases cuando son secos y sobrecalentados, no obstante usualmente se encuentran en una posición muy cercana a la coexistencia de líquido y gas, cerca de la condensación. Por este motivo, un vapor es tanto más gas cuando más sobrecalentado se encuentra (más próximo a la temperatura y presión crítica).



Características de los líquidos:

- Su volumen específico varía muy poco con la presión
- Tiene un volumen determinado y adaptable a la forma del recipiente que lo contiene

Características de los Gases:

- Su volumen específico se altera notablemente con la presión
- Se expande o difunde de forma indefinida con las limitaciones de las fuerzas de gravedad (peso) o de las paredes del recipiente que lo contiene.

En los procesos, la ventaja del empleo del agua en fase vapor preferentemente a la líquida se da por los siguientes motivos:

- A similitud de masa, temperatura y presión, el contenido energético del vapor es marcadamente superior al del líquido.

Cuadro de calores contenidos en un Kg de agua en la fase líquida, vapor, a distintas presiones y temperaturas.

Presión Kg/cm <sup>2</sup> abs	Temp °C	Cont. Calórico Líquido kcal/kg	Cont. Calórico Vapor kcal/kg	Diferencia Liq - vapor Kcal/kg	Rel calores Vapor - líquido
1	99.09	99.12	638.5	539.38	6.44
20	211.38	215.2	668.5	453.30	3.11
50	262.70	274.2	667.3	393.10	2.43
70	284.48	300.9	662.1	361.20	2.33
100	309.53	334.0	651.1	317.10	1.95
200	364.08	431.5	582.3	150.80	1.35
225.65	374.15	501.5	501.5	0	1.00

Se observa:

- El contenido de calor del vapor siempre es mayor al del líquido y la relación entre uno y otro se altera con la presión y la temperatura, disminuyendo cuando aumentan aquellas hasta una condiciones llamadas críticas ( $P_c = 225.65 \text{ Kg/cm}^2$  y  $T_c = 374.15^\circ\text{C}$ ), en las cuales el contenido calórico del líquido y vapor se asemejan.
- La diferencia entre el calor contenido en el líquido y en el vapor se reduce al elevarse la temperatura. Por esto, cuando en un proceso se utiliza el vapor, resulta interesante el trabajo con vapor a la menor presión posible, conforme a los requerimientos del proceso en el cual se utiliza el vapor, y con las exigencias de presión y sobrecalentamiento para el transporte del vapor por las redes de distribución.
- Entre las redes de distribución de un líquido y un vapor se halla un dato que las diferencia en comparación con la exigencia mecánica, la cual se relaciona con el aporte que se debe brindar al líquido para moverlo (bombas), mientras que como vapor la circulación se realiza por diferencias de presión. El vapor fácilmente se auto-transporta, no obstante a base de la utilización de parte de la energía aportada por el combustible.
- En la mayor parte de las instalaciones se demanda energía térmica en distintas condiciones de presión y temperatura. Esto resulta más fácilmente realizable con el vapor que con el líquido, sumado a la posibilidad de un mejor aprovechamiento del calor aportado al agua en el generador; por lo tanto con el vapor es posible escalonar la utilización de características cada vez más degradadas.
- Cuando se pretende obtener producción de energía mecánica en forma directa o a través de la producción de energía eléctrica, las posibilidades teórico-prácticas a favor del vapor resultan plenamente superiores.

### Calor Sensible - Calor Latente

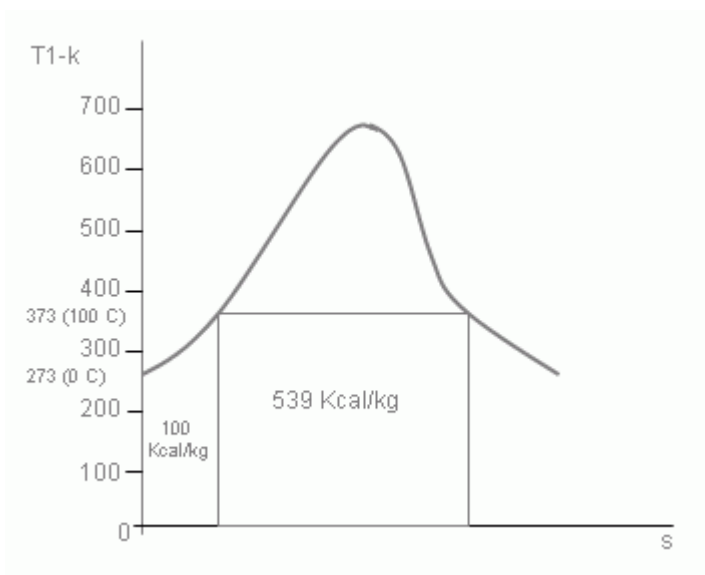
Si en un recipiente con agua se conserva la presión atmosférica de manera constante y se le otorga calor, su temperatura se eleva progresivamente, hasta el hervor. Este calor que ha sido proporcionado al agua es denominado "sensible".

Si continuamos adicionando calor luego de haberse alcanzado a la temperatura de ebullición, ésta no se incrementa; no obstante el agua comienza a evaporarse tomando cada vez más vapor, hasta que se vaporiza totalmente. Este calor es denominado "latente". Con estas adiciones el agua se ha convertido en vapor saturado seco.

Si agregamos más calor al vapor saturado seco, este aumenta de temperatura transformándose en vapor sobrecalentado (presión atmosférica constante).

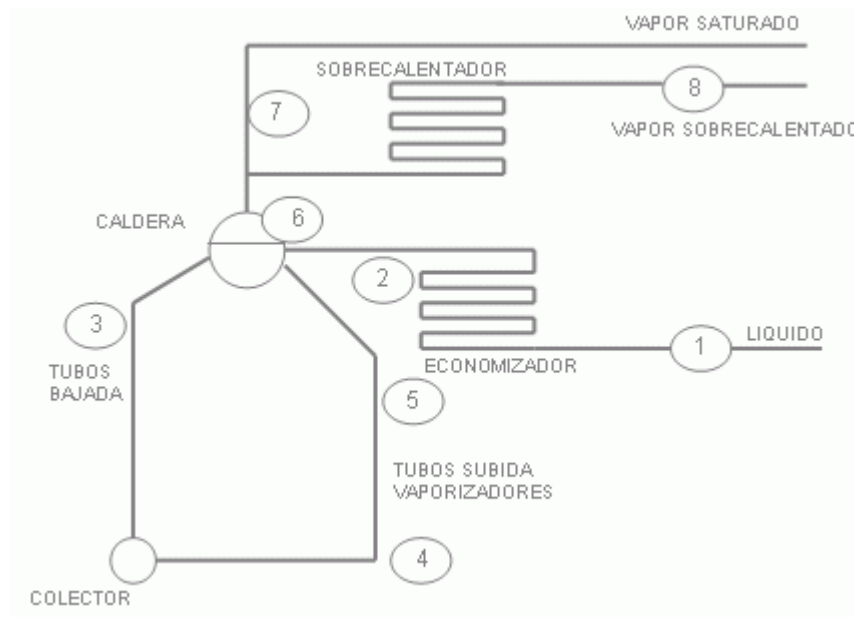
Si repetimos la experiencia a una menor presión que la atmosférica, el fenómeno se repite con la discrepancia de que la temperatura de hervor es inferior, tomando calor sensible: por otra parte se incrementa la cantidad de calor latente. A mayores presiones que la atmosférica, resulta el fenómeno inverso.

### Representación en el Diagrama Entrópico del calor tomado por el agua al Evaporarse

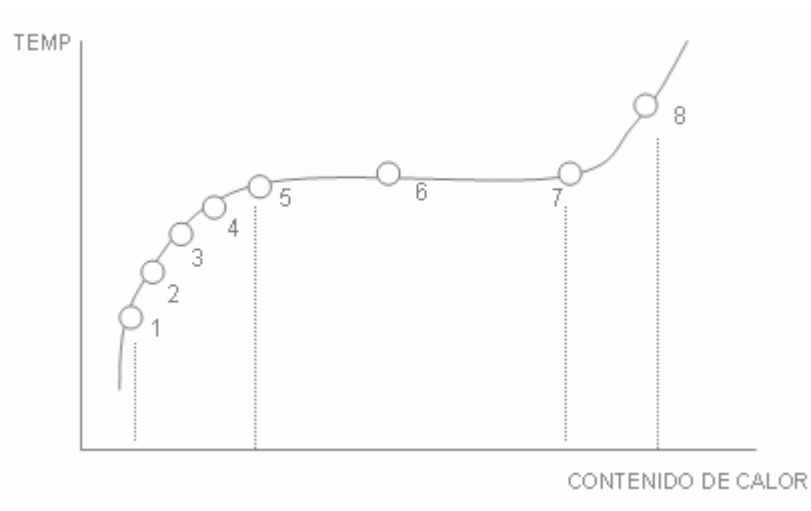


## Generador de Vapor - (Fases)

El esquema de instalación del generador de vapor es el siguiente:



Siguiendo el gráfico puede constatarse el comportamiento en cada punto de la curva



## Generadores de Vapor - (Clasif.)

Los generadores de vapor se clasifican según criterios diferentes. En este apartado solo expondremos aquellos relacionados con la energía.

Por la disposición de los fluidos:

- De tubos de agua (acuotubulares)
- De tubos de humo (pirotubulares o tubos de fuego)

Por la circulación del agua:

- De circulación natural
- De circulación asistida
- De circulación forzada

Por el mecanismo de transmisión dominante:

- De convección
- De radiación
- De radiación y convección

Por el combustible empleado:

- De carbón (parrilla mecánica o carbón pulverizado)

- De combustibles líquidos
- De combustibles gaseosos
- De combustibles especiales (licor negro, bagazo, etc.)
- De recuperación de calor de gases (con o sin combustión de apoyo)
- Nucleares (uranio natural, uranio enriquecido, etc.).

Por la presión de trabajo:

- Subcrítica de baja presión  $p < 20 \text{ kg/cm}^2$ 
  - de media presión  $20 > p > 64 \text{ kg/cm}^2$
  - de alta presión  $p > 64 \text{ kg/cm}^2$
- Supercrítica

Por el tiro:

- De tiro natural
- De hogar presurizado
- De hogar equilibrado

Por el modo de gobernar la operación:

- De operación manual
- Semiautomáticos
- Automáticos

## **Turbina de Vapor**

En la turbina de vapor la energía potencial del vapor de alta presión se convierte en energía mecánica, impulsando a un generador. Al expandirse el vapor, este advierte una disminución de presión. Al enviar la corriente de vapor a los álabes curvados se realiza una fuerza sobre los mismos. El rendimiento de la conversión de energía obedece a la relación entre la velocidad periférica de los álabes y la velocidad de la corriente de vapor. Si se pretende lograr un rendimiento eficiente se debe elegir una velocidad de la corriente de vapor que no sea arbitrariamente grande. En consecuencia la presión que existe en el vapor fresco se debe disminuir escalonadamente. En cada escalón de la turbina se opera con una turbina de presión totalmente especificada. Cada escalón contiene una rueda directriz fija equipada de álabes directrices y una rueda giratoria que consta de álabes móviles solidarias al árbol de máquina.

Las turbinas que reflejan enormes caídas de presión requieren un gran número de escalones, los cuales no resultan posible de montar siempre sobre el mismo árbol, en función de que esto implicaría una gran separación entre cojinetes y de grandes diferencias de temperaturas en la carcasa. Debido a esto se debe construir la turbina con varias carcasas para las distintas partes del árbol, las cuales son estrictamente acopladas.

El vapor al expandirse incrementa su volumen, por lo cual la longitud de los álabes es cada vez más larga en el sentido del flujo de vapor.