

## Centrales Eléctricas

---



## INDICE

---

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 1 CENTRALES ELÉCTRICAS .....                        | 4  |
| 2 TIPOS DE CENTRALES .....                          | 5  |
| 2.1 Hidráulicas o Hidroeléctricas.....              | 5  |
| 2.2 Nucleares .....                                 | 5  |
| 2.3 Mareomotrices.....                              | 6  |
| 2.4 Geotérmicas .....                               | 6  |
| 2.5 Eólicas .....                                   | 6  |
| 2.6 Solares o Heliotérmicas .....                   | 7  |
| 2.7 Hidrotérmicas .....                             | 7  |
| 2.8 Térmicas .....                                  | 7  |
| 3 CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES.....               | 9  |
| 4 INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS DE CARGA .....         | 10 |
| 5 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS .....                   | 11 |
| 5.1 Clasificación de Centrales Hidroeléctricas..... | 12 |
| 5.1.1 Centrales de Pasada .....                     | 12 |
| 5.1.2 Centrales de Agua Embalsada .....             | 12 |
| 5.2 Componentes de las Centrales.....               | 14 |
| 5.3 Conceptos Hidráulicos .....                     | 14 |
| 5.3.1 Nivel y Cota.....                             | 14 |
| 5.3.2 Caudal y Aforo.....                           | 15 |
| 5.3.3 Carga y Pérdida de Carga.....                 | 16 |
| 5.3.4 Salto de Agua .....                           | 19 |
| 5.4 Embalse .....                                   | 19 |
| 5.5 Presas .....                                    | 21 |
| 5.5.1 Cimentación o Fundamento .....                | 22 |
| 5.5.2 Estribos o Apoyos Laterales.....              | 22 |
| 5.5.3 Coronamiento .....                            | 22 |
| 5.5.4 Paramentos.....                               | 23 |
| 5.5.5 Clasificación de las Presas .....             | 23 |
| 5.5.6 Fuerzas Actuantes sobre las Presas .....      | 26 |
| 5.5.7 Aliviaderos .....                             | 27 |
| 5.5.8 Desagües de fondo y de medio fondo.....       | 28 |
| 5.5.9 Gal. Inspección - Esc. de Peces.....          | 29 |
| 5.6 Conducciones de agua.....                       | 30 |
| 5.6.1 Tomas de Agua.....                            | 30 |
| 5.6.2 Canales, Túneles y Galerías .....             | 31 |
| 5.6.3 Tuberías Forzadas o Tuberías de Presión ..... | 31 |
| 5.6.4 Chimeneas de Equilibrio .....                 | 32 |
| 5.6.5 Colectores y galerías de desagüe.....         | 33 |
| 5.6.6 Aireación de conducciones de agua .....       | 33 |
| 5.6.7 Apertura Cierre y Regulación.....             | 33 |
| 5.7 Fenómenos de Conducción Hidráulica.....         | 40 |
| 5.7.1 Cavitación .....                              | 40 |
| 5.7.2 Golpe de Ariete.....                          | 40 |
| 6 CENTRALES NUCLEARES.....                          | 43 |
| 6.1 Centrales Nucleares Argentinas .....            | 45 |
| 6.1.1 Central Nuclear Atucha 1 .....                | 45 |
| 6.1.2 Central Nuclear Embalse .....                 | 45 |
| 6.1.3 Central Nuclear Atucha 2.....                 | 48 |
| 6.2 Reactores Avanzados.....                        | 49 |
| 6.3 Algunos Conceptos Básicos .....                 | 51 |
| 6.3.1 El Átomo.....                                 | 51 |
| 6.3.2 Isótopo .....                                 | 51 |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 6.4 Clasificación de Reactores .....             | 52 |
| 6.5 Descripción de Reactores de Potencia .....   | 53 |
| 6.5.1 Reactor PWR Pressurized Water .....        | 53 |
| 6.5.2 Reactor PHWR Pressurized Heavy Water ..... | 54 |
| 6.5.3 Reactor BWR Boiling Water .....            | 54 |
| 6.5.4 Reactor HWR Heavy Water .....              | 55 |
| 6.5.5 Reactor GCR Gas Cooled .....               | 55 |

## 1 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.

## 2 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

### 2.1 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.



*Turbinas Hidráulicas*

### 2.2 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 maquinas 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.

### **2.3 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 maquinas, 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).

### **2.4 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.

### **2.5 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.



*Turbina Eólica*

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.



*Parque Eólico*

## 2.6 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.

## 2.7 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

## 2.8 Térmicas

Centrales Eléctricas

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.

### 3 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 tienen 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.

## 4 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).

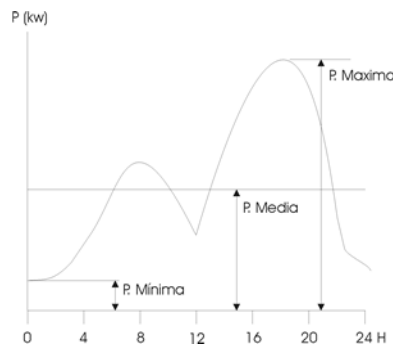
Se denomina carga de una central a la potencia que ésta brinda o le es solicitada en un momento determinado. El concepto energía producida se refiere a la cantidad de potencia aportada por el sistema de consumo durante un determinado número de unidades de tiempo.

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.



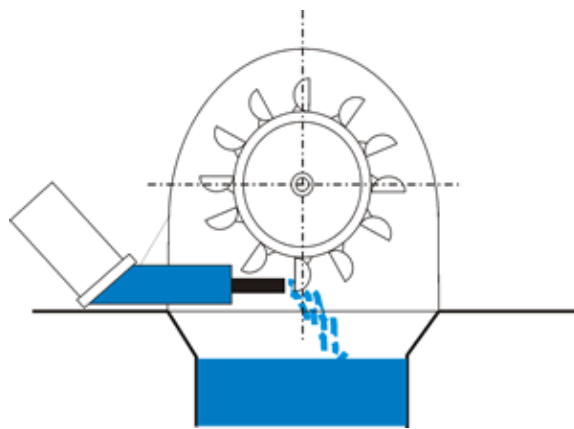
## 5 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

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*



*Imagen de una Turbina Pelton*

## 5.1 Clasificación de Centrales Hidroeléctricas

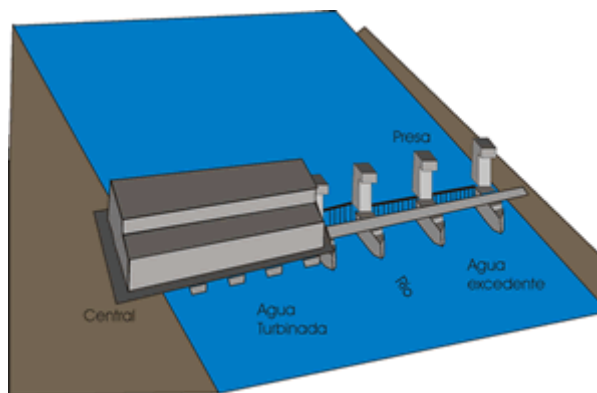
### 5.1.1 Centrales de Pasada

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.

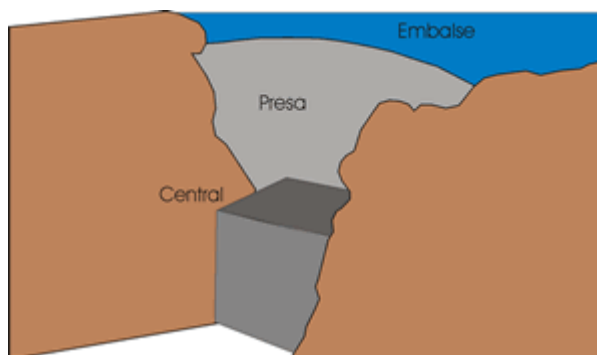
Generalmente son construidas formando presa sobre el cauce de los ríos, con el objetivo de mantener un desnivel constante en el caudal de agua.



### 5.1.2 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:

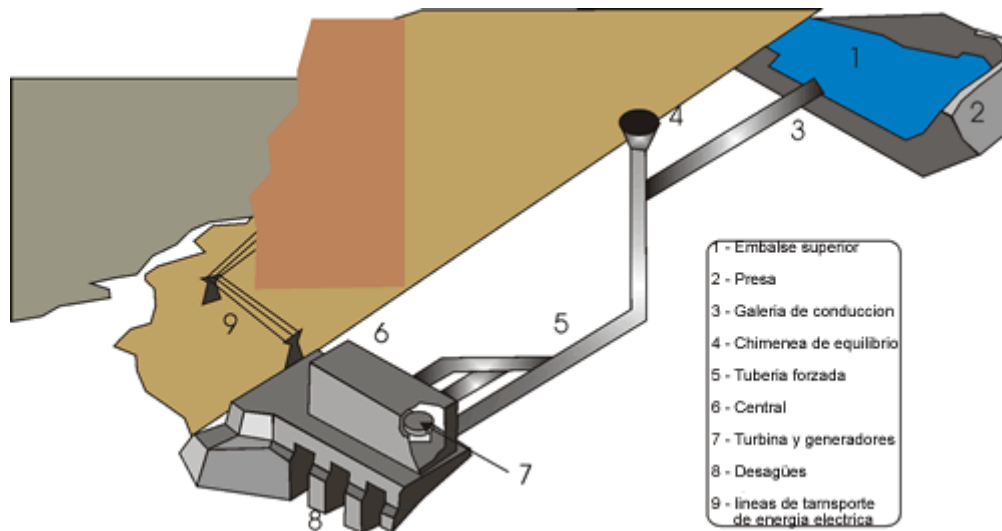
### Centrales de Regulación

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.



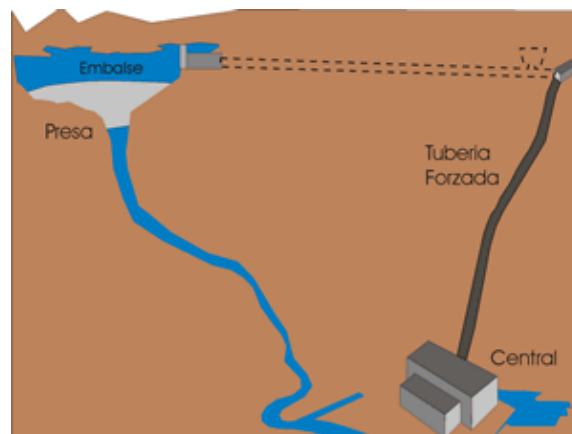
Según sea la altura del salto de agua existente, o desnivel, las centrales también pueden clasificarse en:

#### ■ **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.

## 5.2 Componentes de las Centrales

Estos componen se dividen en dos grupos:

- A. 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.

- B. 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.

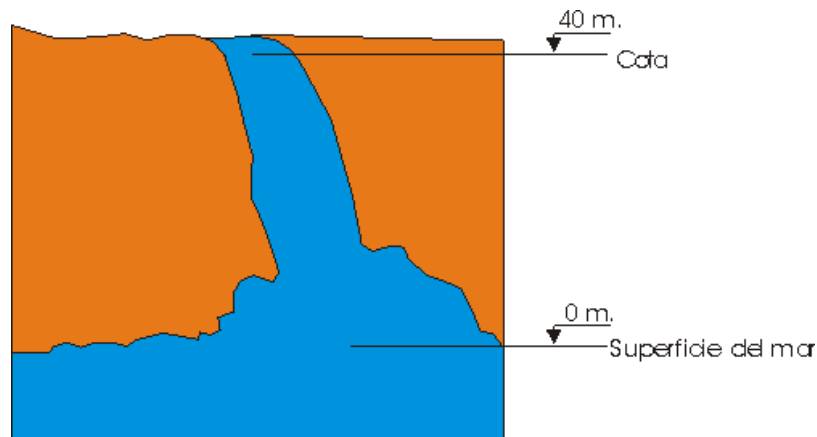
En la construcción de las centrales hidroeléctricas, se tiene en cuenta las características del emplazamiento y de los resultados que quieren obtenerse, y luego se efectúa una combinación de los componentes nombrados.

## 5.3 Conceptos Hidráulicos

### 5.3.1 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.



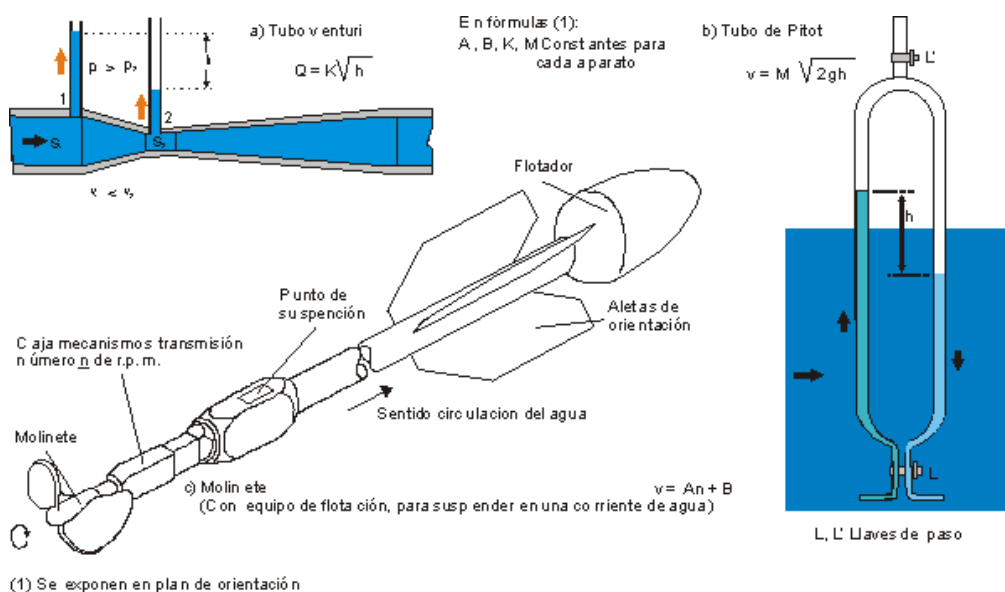
### 5.3.2 Caudal y Aforo

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.

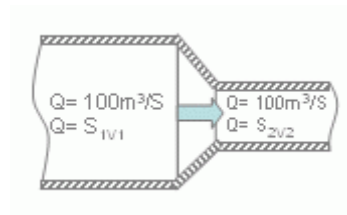
$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

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



### 5.3.3 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)

$$\rho = m / V$$

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

Se recuerda que:

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

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).

$$\gamma = P / V$$

De la fórmula anterior, se obtiene que:

$$h = p / \gamma$$

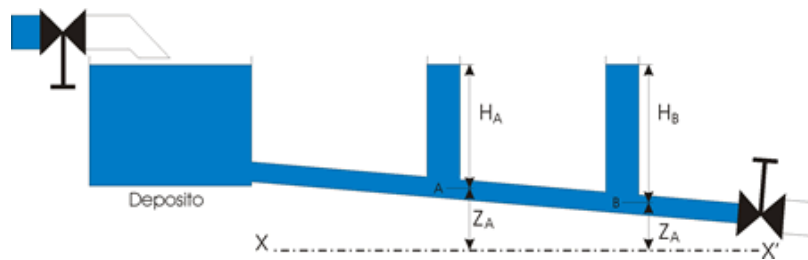
### **Teorema de Torricelli**

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.

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

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.

$$h_p = p / \rho \cdot g$$

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

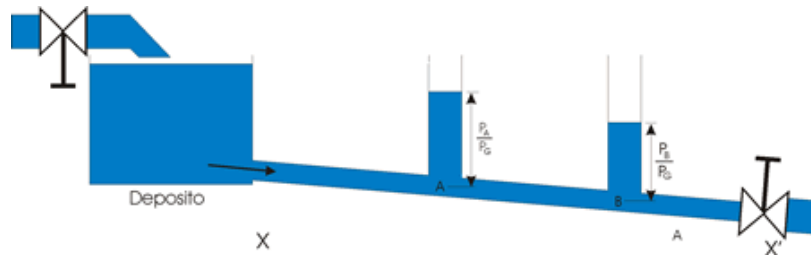
$$h_g = Z$$

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

$$(V_A^2 / 2 g) + (p_A / \rho g) + Z_A = (V_B^2 / 2 g) + (p_B / \rho g) + Z_B = H$$

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:

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

Donde:

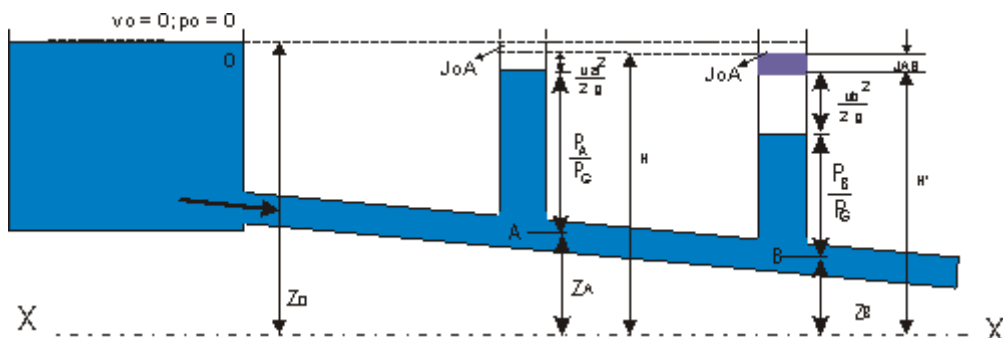
$V_A$  y  $V_B$  = velocidades del líquido en m/s, mediante las secciones correspondientes a los puntos  $A$  y  $B$  respectivamente.

$Z_A$  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



### 5.3.4 Salto de Agua

Se entiende por salto de agua al paso violento o descenso de masas de agua desde un nivel, más 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**

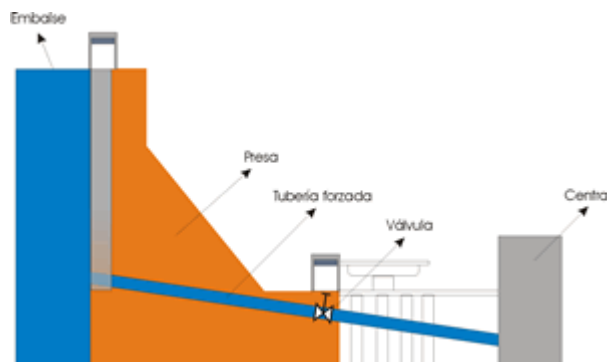
Se expresa mediante la letra  $H$  y representa la diferencia entre el nivel de la superficie del agua retenida y el nivel, en apariencia uniforme, de la corriente de agua que se establece una vez que la misma haya transitado las conducciones que salvan el salto de agua.

#### **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.



### 5.4 Embalse

Un embalse surge de acumular las aguas que afluyen del territorio sobre el cual esta 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.

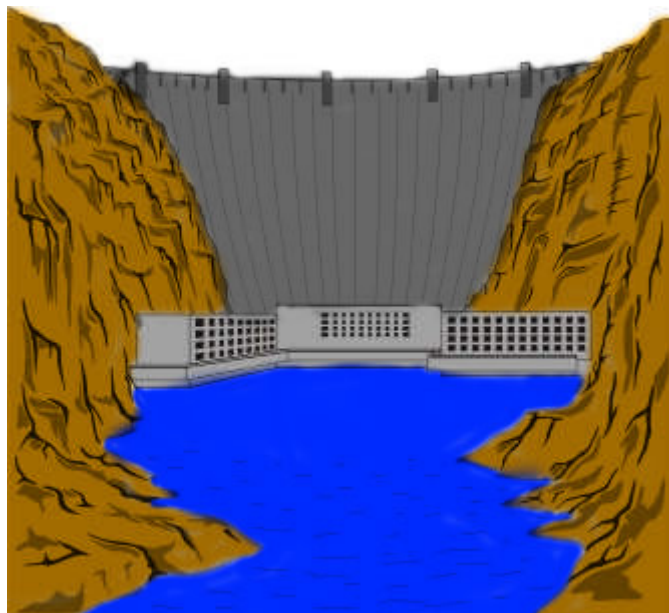


Por cuenca se entiende la superficie receptora de las aguas caídas que lo nutren; ya sea por escurrimiento inmediata (libre transitar de las aguas por el suelo) o por infiltraciones. La cuenca se mide en kilómetros cuadrados ( $\text{km}^2$ ) y se refieren a la proyección horizontal de dicha superficie.

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 esta 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**

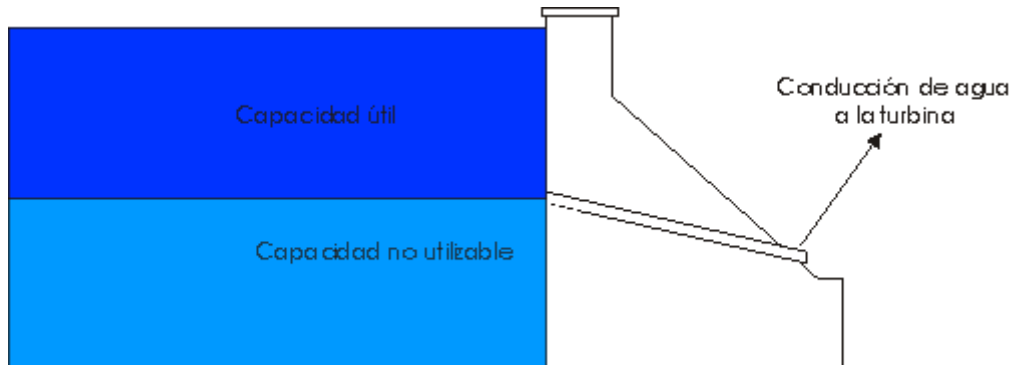
Recibe el nombre de **capacidad útil**, la capacidad de agua embalsada que supera el ingreso de agua hacia la central. Es el volumen de agua disponible para cubrir la demanda de la instalación a la cual pertenece el embalse.

### **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 acarreo 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.

## 5.5 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.

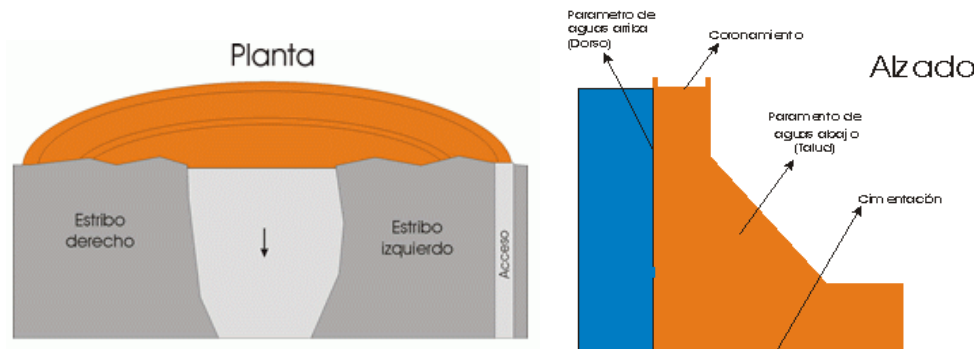
La construcción de una presa, sobre el cauce del río y transversalmente a éste, origina un estancamiento de agua y consecuentemente la creación de un salto de agua. Un pantano artificial es un embalse o lago artificial surgido a partir de la utilización de la presa como depósito de agua.

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.

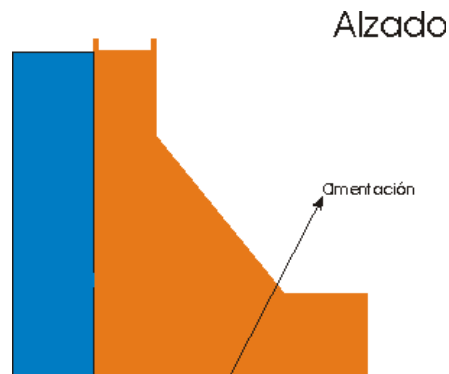
Algunas de las aplicaciones de estas barreras son la provisión de agua a poblaciones, riegos, control y distribución de caudales, etc. Otra función importante es la producción de energía eléctrica.

Se entiende por azudes a las presas de pequeña altura.



### 5.5.1 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.

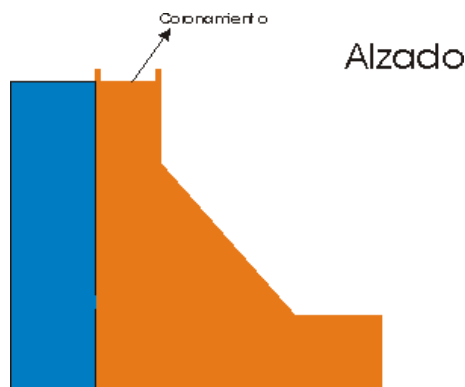


### 5.5.2 Estribos o Apoyos Laterales

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.

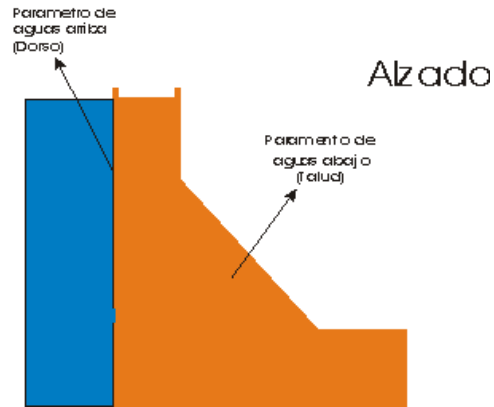
### 5.5.3 Coronamiento

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.



#### 5.5.4 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



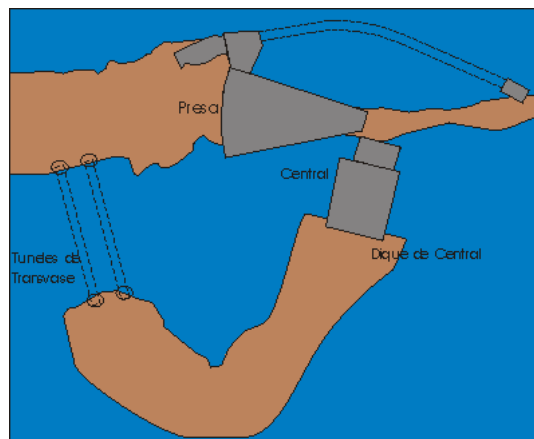
#### 5.5.5 Clasificación de las Presas

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.

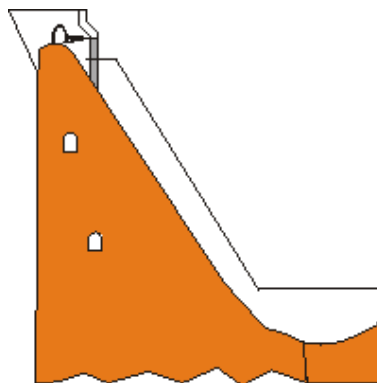
Actualmente, es la forma más utilizada en la construcción de presas.

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.

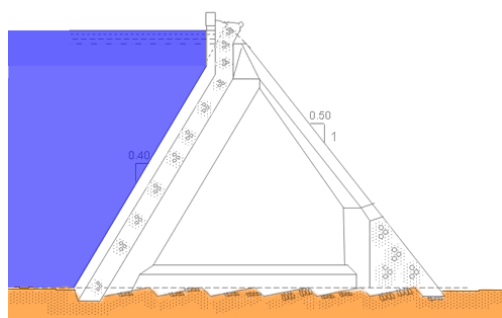
El perfil de las presas de gravedad presenta una forma triangular o trapezoidal, de sección maciza constante.



#### **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.

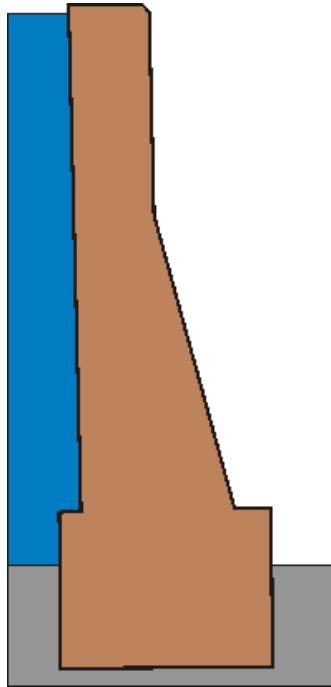
Las presas de contrafuertes se denominan también presas aligeradas debido a que logran una economía de materiales. Además, se apela a estas presas para la construcción de diques.



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

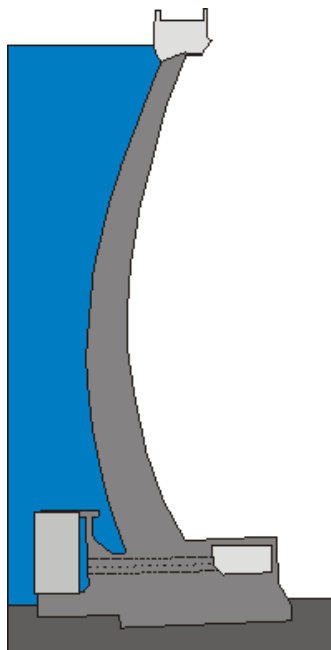
Estas presas presentan una superposición de arcos horizontales, cuya parte convexa soporta la mayor presión del agua y del empuje horizontal. Este empuje se traslada a los apoyos laterales, motivo por el cual éstos suelen ser robustos y estar emplazados sobre rocas compactas.

La construcción de estas presas no es frecuente



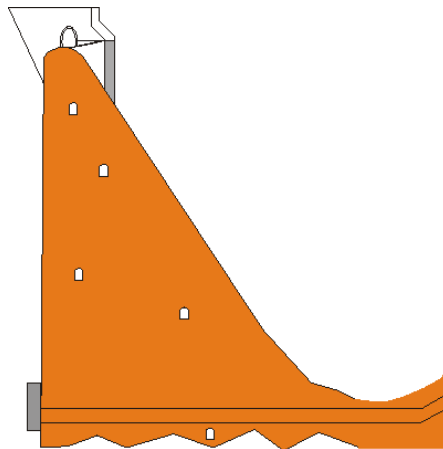
### h) Presas de bóveda

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.



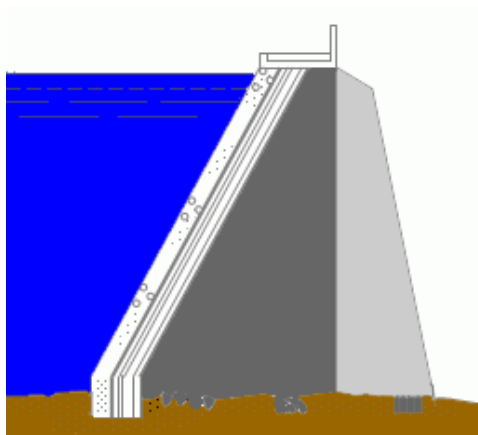
**i) Presas de arco – gravedad**

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.



**5.5.6 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.

### 5.5.7 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.

#### Aliviaderos de superficie

Dentro de esta categoría se incluyen:

#### Presas Vertederos o en Coronación de Presa

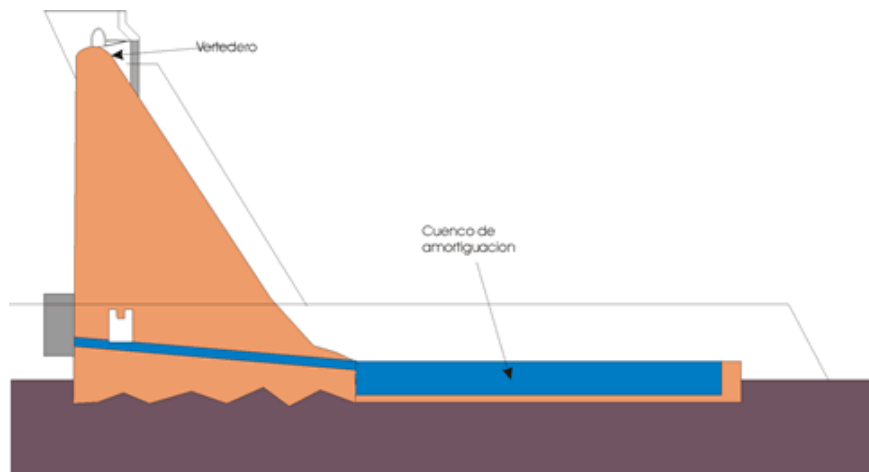
Estos aliviaderos tienen la característica de integrar la propia presa, por medio de orificios situados en la coronación.

A través de estos vertederos se logra un importante efecto rebosadero con poca altura de lámina, debido a que se aprovecha la máxima longitud posible de aquella.

Las aberturas están dispuestas simétricamente respecto del eje vertical de la presa, con el propósito de lograr que el efecto del agua sea uniforme y equilibrado sobre el paramento de aguas abajo. Los saltos de esquí o trampolines de lanzamiento son las formas de las desembocaduras de los vertederos que arrojan el agua. La función de estos saltos es tratar que las acciones del agua sean mínimas o nulas para evitar erosiones.

Los cuencos de amortiguación se construyen con el mismo objetivo. Se sitúan en el área de aguas debajo de la cimentación de presa, a base de colchón de agua o con trampolines sumergidos.

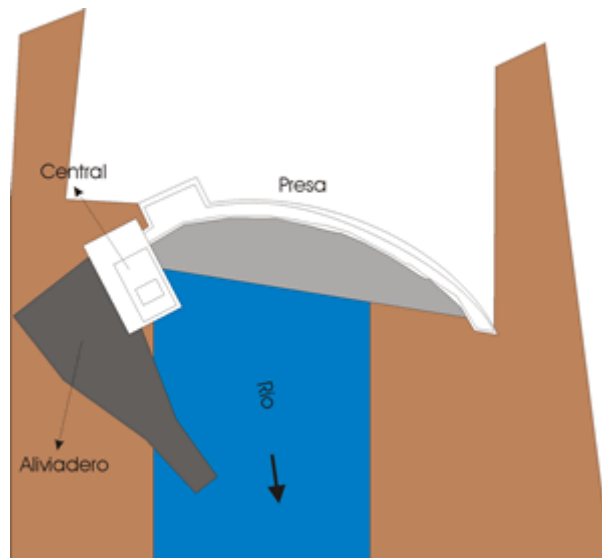
Las presas de vertedero libre son aquellas que no poseen compuertas, o sea, que no pueden controlar e interrumpir el paso de agua por las aberturas del aliviadero.



#### Vertederos en Canal o Vertederos Laterales

Consisten en una o dos aberturas en el lateral de la coronación de la presa. Su colocación permite la instalación de la central o de otros equipos en el paramento de aguas abajo.

Cuando las aberturas no poseen compuertas se denominan vertederos de canal libre.

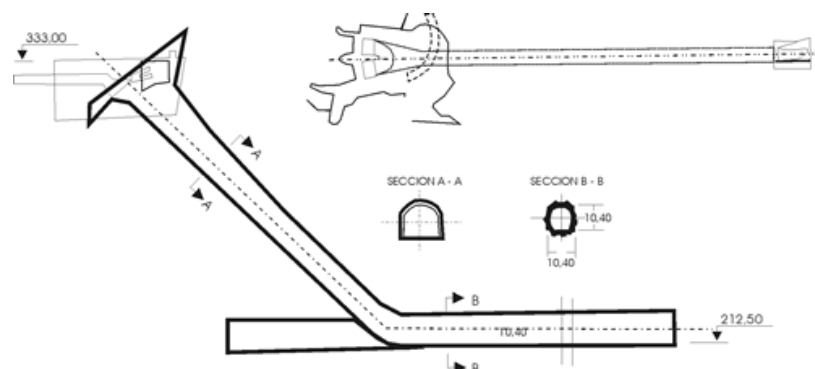


### Túneles aliviaderos

Estos túneles radican en túneles de construcción independientes de la presa.

En su comienzo se utilizaron para descaminar las aguas del cauce en que se ubica la presa, pero luego se convirtieron en conducciones similares a los vertederos en canal.

Las aberturas de su embocadura constan de compuertas para dominar los caudales evacuados y para incomunicar los túneles en caso de controles y obras.



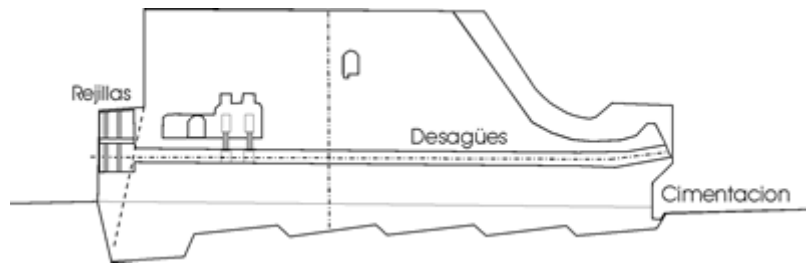
### Aliviaderos de emergencia

Estos aliviaderos consisten en vertederos libres ubicados, particularmente, en la coronación de las presas de la bóveda.

### 5.5.8 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.

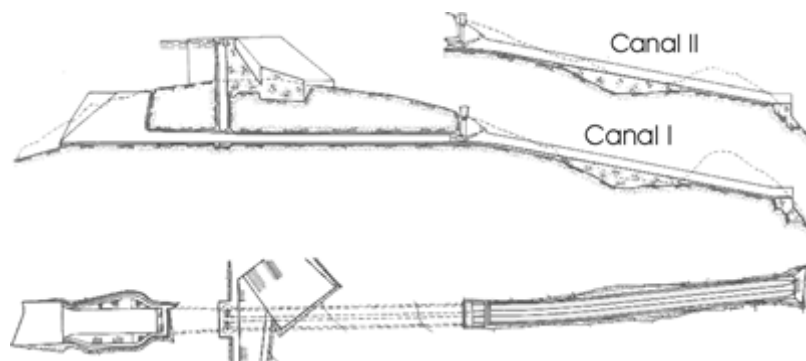


En las áreas de acceso del agua, existen rejillas que frenan la entrada de broza y agentes extraños en suspensión dentro del agua. La separación entre barras de las *rejillas gruesas* está comprendida entre 50 y 250 mm de distancia, mientras que para las *rejillas finas* está separación es de 30 mm.

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.



### 5.5.9 Gal. Inspección - Esc. de Peces

#### Galerías de Inspección

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 captadores 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.

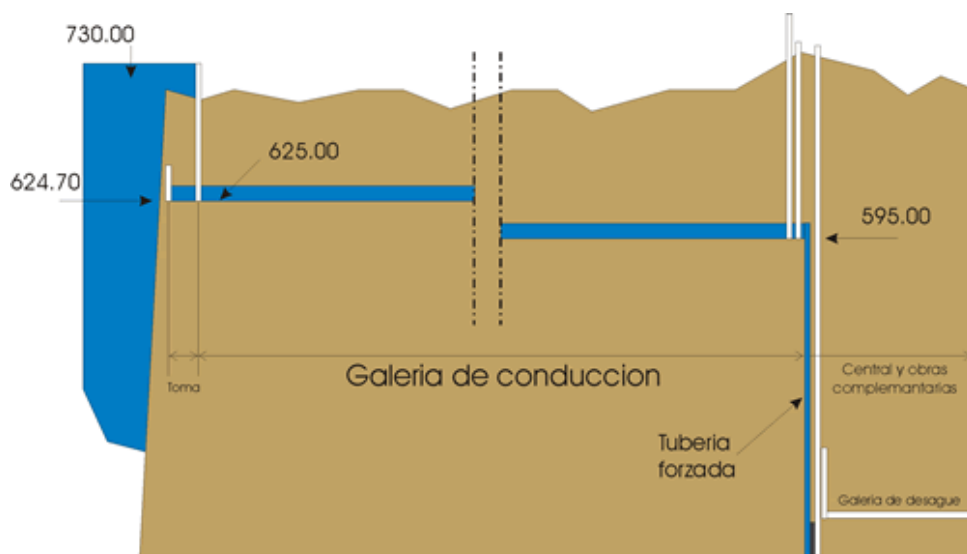
## 5.6 Conducciones de agua

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 trecho está compuesto por una o varias galerías de escasa pendiente y gran longitud denominadas galerías de presión. Las embocaduras de estas 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*.



### 5.6.1 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.

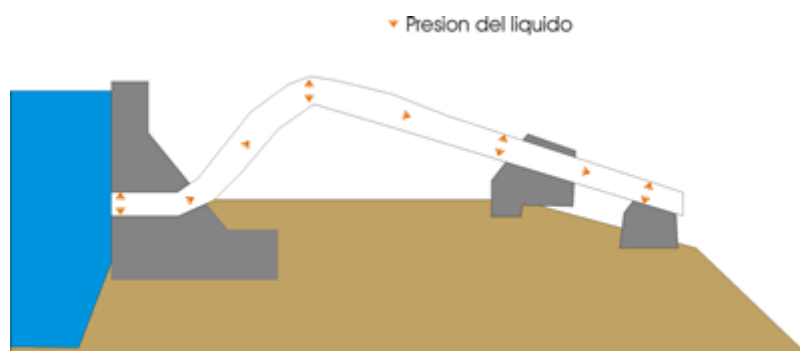
Las torres de toma reciben el nombre de *torres de rejillas*, cuando la construcción sólo comprende a estos elementos, encargados de filtrar el agua.

### 5.6.2 Canales, Túneles y Galerías

Estas denominaciones se emplean para referirse a las diferentes clases de conductos artificiales, contruidos 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.

### 5.6.3 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 depresiones al desaguar 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.

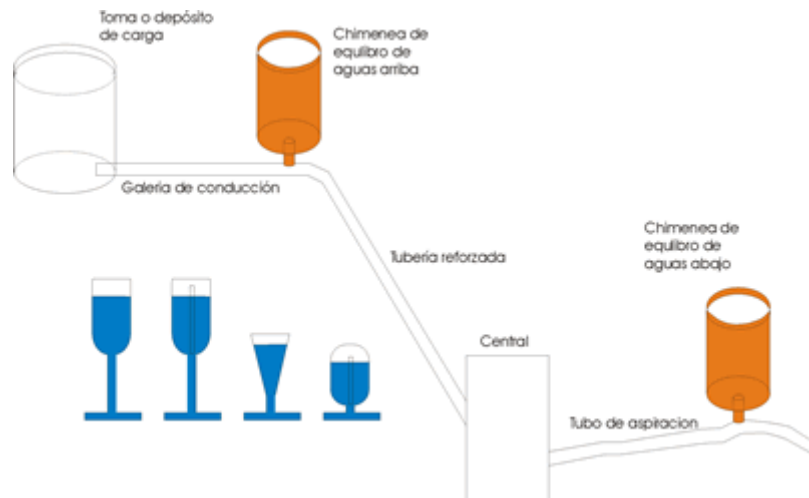
#### 5.6.4 Chimeneas de Equilibrio

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.

### 5.6.5 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.

### 5.6.6 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.

### 5.6.7 Apertura Cierre y Regulación

#### 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*.

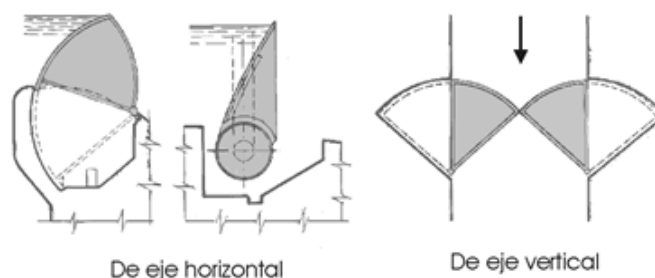
En las compuertas no deben producirse vibraciones, sea cual sea la apertura y la presión a la que esta sujeta.

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.



#### de Segmento

Estas compuertas poseen una pantalla de superficie rectangular curvada, en la que, la base y extremo superior, corresponden a generatrices horizontales del cilindro recto definido por las mismas.

Esta clase de compuertas cumplen su función, principalmente, en aliviaderos de superficie, túneles aliviaderos y en el área de obturación de aguas debajo de los desagües de fondo y medio fondo.

Los desplazamientos de estas compuertas se logran por una duplicidad de equipos, por lo que se requieren esfuerzos mínimos para lograrlos. Estos equipos se ubican simétricamente respecto del eje vertical de la compuerta, y cada uno de ellos funciona sobre su extremo correspondiente, en total concordancia con el del extremo contrario.

Los equipos estas compuestos por un *cabrestante*, integrado por un tren de engranajes y provisto de un sistema reductor y del motor de accionamiento. Las funciones del cabrestante son mantener en tensión y controlar los movimientos de la cadena de eslabones.

Para lograr el sincronismo entre los equipos, cada uno está dotado de un motor selsyn (self synchronizing – autosincronización). Estos motores operan en conjunto, logrando un equilibrio constante en el movimiento de los trenes de engranajes. De esta manera, se evita que la compuerta se desnivele y se bloquee.

Además de los motores selsyn, los equipos poseen un freno electromagnético para inmovilizar la compuerta en sus diferentes posiciones.

En las instalaciones de menor tamaño o de diseño antiguo, la concordancia entre los equipos puede lograrse por medio de una transmisión mecánica rígida.

En la actualidad, el accionar de este tipo de compuertas se realiza mediante el empleo de servomecanismos.

Los equipos pueden controlarse localmente o a distancia, desde armarios de control en los que se alojan dispositivos como contactores, relés temporizados, fusibles, interruptores, etc.

En las compuertas y sus equipos existen limitadores de carrera tanto para apertura como cierre, contactos de corte de maniobra por deformación de cadenas o cables, selsyns transmisores de posición de compuerta y otros mecanismos encargados de establecer ciclos de iniciación y parada.

El estancamiento se consigue a través de distintos procedimientos como el empleo de juntas de goma, la nota musical para la clausura sobre el umbral, y de sección rectangular para el sellado sobre los laterales.

### de Sector

Estas compuertas poseen ciertas particularidades que las distinguen de las compuertas de segmento.

Las 2 características que diferencian a ambas compuertas son:

- En las compuertas de segmento, la única área que está formada por chapas metálicas es la zona de contacto con el agua. Por el contrario, en las compuertas de sector, además de esa área, pueden estar cubiertas las zonas que pertenecen a los planos definidos por los radios que demarcan al sector propiamente dicho incluidos los laterales. De esta manera, surgen los cajones flotantes que caracterizan a las compuertas de sector flotantes.
- El vertido en las compuertas de sector se realiza por la parte superior de las mismas, y no a través del umbral de la abertura controlada por una compuerta de segmento. Esto se debe a la serie de recintos que se ubican por debajo del asentamiento de cierre de la compuerta de sector.

Dentro de estos recintos, se instalan los dispositivos de accionar de las compuertas. Estos radican, generalmente, en servomotores controlados por sistemas de aceite a presión. Estos mecanismos corresponden a compuertas de sector no flotantes, en las cuales las únicas superficies metálicas corresponden a la zona cilíndrica y al plano superior.

Las compuertas de sector flotante pueden construirse con planchas metálicas o de hormigón. Un sistema hidráulico que vigila la flotabilidad de la compuerta, es el mecanismo que posibilita el logro de la posición apropiada para el vertido.

### de Claveta

Estas compuertas están constituidas por tableros, planos o curvados, de superficie rectangular.

Esta clase de compuertas realiza el giro sobre un eje longitudinal ubicado en la base y el movimiento de apertura es efectuado hacia abajo. Como consecuencia de esto, este tipo de compuertas siempre queda sumergidas en el instante de vertido, como ocurre con las compuertas de sector.

Su utilización es, generalmente, en aliviaderos de superficie.

Los mecanismos de accionar son variados e individuales para cada compuerta. Estos equipos pueden basarse en el empleo de cabrestantes, de mecanismos integrados por servomotores, palancas y levas, contrapesos, etc.

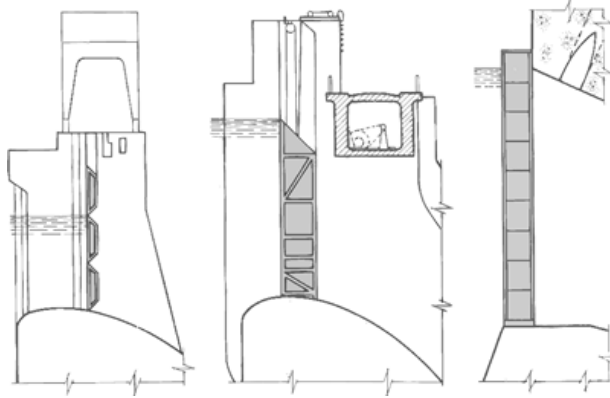
En las compuertas de clapeta, el estancamiento se ve restringido debido al depósito de cuerpos extraños en las áreas de cierre, cuando éstas están abiertas y comienzan el cierre.

Estas compuertas se utilizan como suplemento de otras clases de compuertas, emplazándose directamente sobre éstas.

### - 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.



### Stoney

Los tableros que integran estas compuertas son de superficie rectangular plana que, en la cara de aguas abajo, poseen estructuras metálicas que le otorgan rigidez.

El desplazamiento, sobre guías fijas a los laterales de la abertura, se produce verticalmente, a través del accionar de cabresantes que abren la compuerta para permitir el acceso del agua.

El deslizamiento uniforme se consigue mediante la instalación de un tren de rodillos en cada lateral de la compuerta.

Esta clase de compuertas se aprovecha en los aliviaderos de superficie.

### de Vagón

La característica que diferencia a este tipo de compuertas con las de Stoney, es que el sistema de rodadura está formado por rodillos, cuyos ejes, fijos en los laterales de cada compuerta, están separados y esparcidos uniformemente.

Estas compuertas pueden emplearse tanto en aliviaderos de superficie y túneles aliviaderos como en desagües de fondo y de medio fondo.

La compuerta de vagón de doble tablero es aquella compuerta de vagón complementada en su parte superior, por otro tablero. Éste se desliza sobre el principal y tiene como función regular el paso de agua. Ambos tableros quedan sumergidos y ascienden al dar paso a las masas de

agua. Las compuertas de clapeta constituyen otro complemento posible para las compuertas de vagón.

### de Oruga

Estas compuertas son de movimiento vertical, al igual que las Stoney y de vagón.

El movimiento vertical sin roces ni agarrotamientos, se logra mediante la disposición en cada uno de sus lados, de una cadena continua de rodillos.

La estanqueidad se consigue a través de juntas de goma de sección nota musical y llanta metálica, soldada al tablero.

Estas compuertas se utilizan, particularmente, en áreas de paso de agua sujetas a fuertes presiones, tales como desagües de fondo y tomas de agua de alimentación a las turbinas.

El mecanismo de accionar es individual para cada compuerta y se compone por un servomotor. El ascenso y el mantenimiento de la compuerta, en postura de abierta, se logran por medio del aceite acumulado en la parte inferior del émbolo del servomotor.

El enlace entre servomotor y compuerta, tiene lugar mediante barras de acero semiduro, las cuales, acopladas unas tras otras, forman una cadena articulada. La longitud de cada barra suele ser equivalente a la altura de la compuerta, con el fin de poder efectuar revisiones en ésta, desplazándola a través del servomotor hasta la cámara encargada de tal propósito, apartando dichas barras sucesivamente.

Dentro del sistema de control se destaca una columna, que mediante la acción de un contrapeso unido a la compuerta por un cable, cumple las siguientes funciones:

- Advertir sucesivas posturas de la compuerta.
- Accionar automáticamente moto-bombas, por descenso de compuerta.
- Cortar o detener movimientos de apertura.

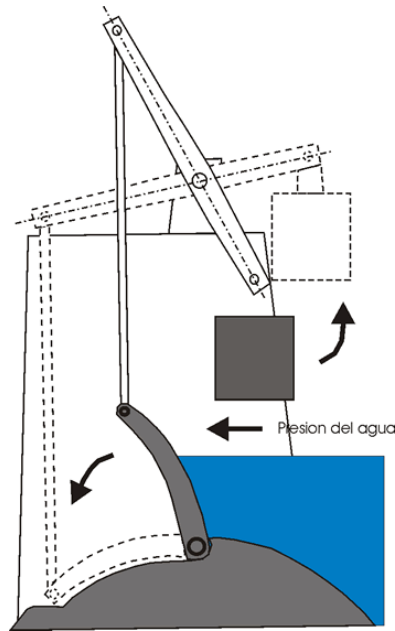
Advertir anomalías en cámaras de maniobras, por sobre elevación de compuerta, o por avería del cable que soporta al contrapeso de accionamiento de contactos.

### - 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.

#### **- 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.

#### **- 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.

#### - 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.

#### - 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.

## 5.7 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.

### 5.7.1 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*.

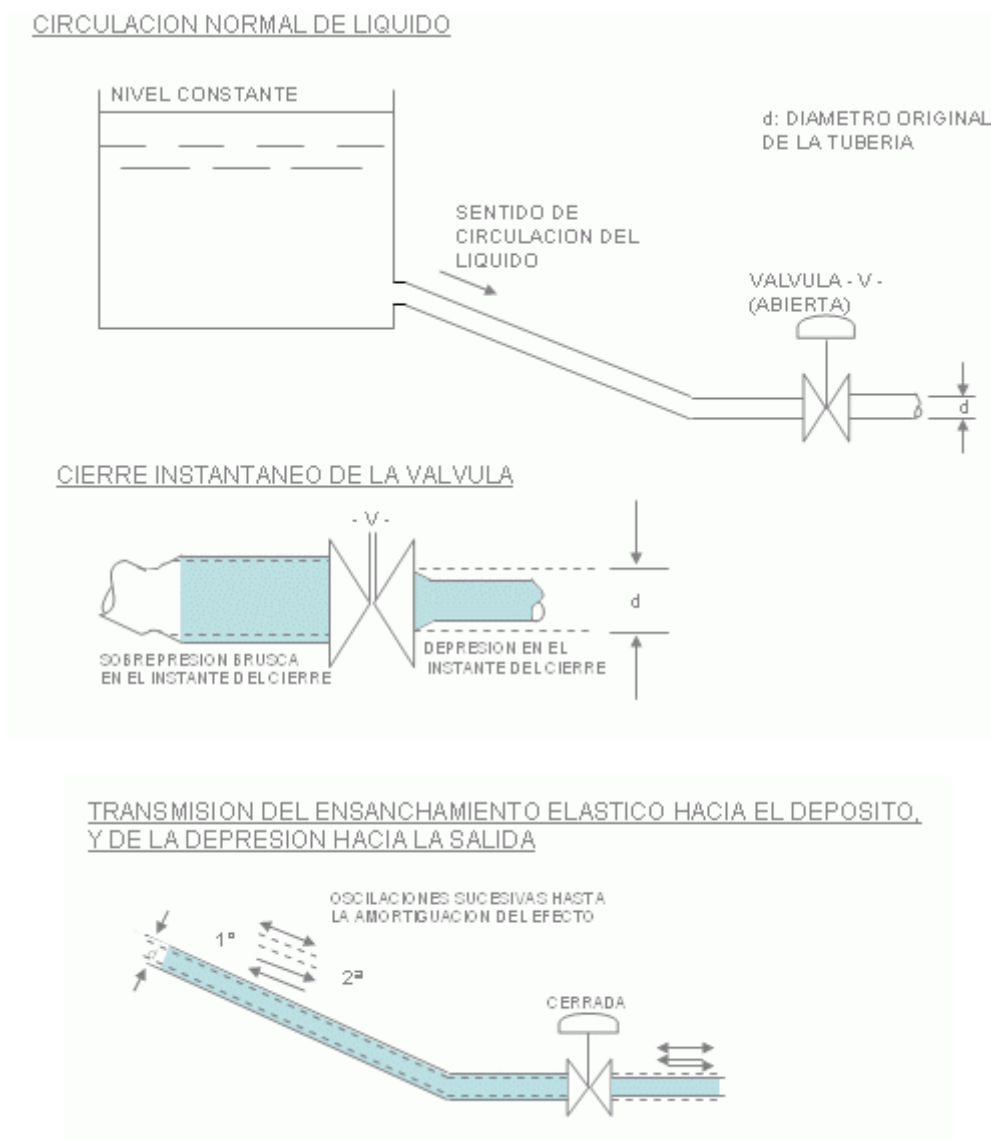
Una vez que se producen burbujas de cavitación en el interior de un líquido, estas aumentan su tamaño a máximo en un espacio corto de tiempo como consecuencia de reducciones de presión. Debido a un nuevo rompimiento de las burbujas, las partículas de líquido se precipitan hacia el centro de la burbuja y superficies sólidas sobre las que cada una de ellas estaba fija.

### 5.7.2 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 sobre presiones 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**



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 requeridas 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.

## 6 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.

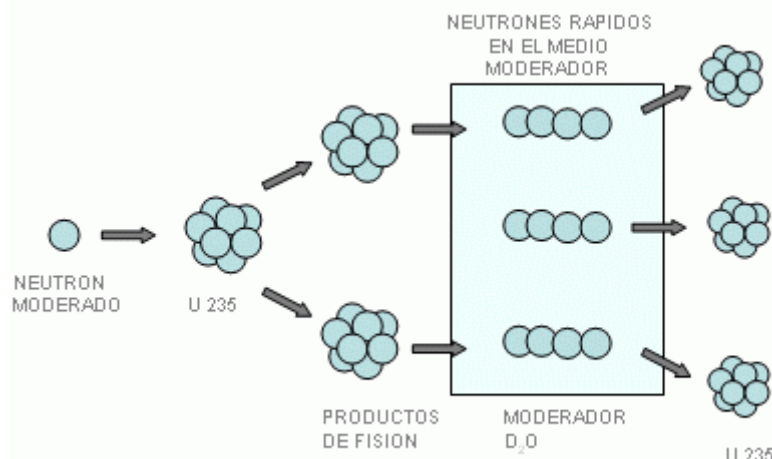
La Energía Nuclear es la que se halla encerrada en todos los Núcleos Atómicos y surge gracias a la propiedad que poseen las partículas subatómicas, como Neutrón y Protón, de atracción mutua al encontrarse tan cerca como las distancias de sus diámetros.

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 Óxido de Uranio con diferentes grados de enriquecimiento. Estos son arreglados en conjunto, que denominamos ensambles de combustible y son colocados dentro del Reactor.

A lo largo del primer arranque del reactor, junto a los ensambles de combustible, encontramos las fuentes emisoras de Neutrones (el fósforo para iniciar la fisión nuclear). Dentro del mismo y cercano a los ensambles de combustible se localizan las Barras de Control, las cuales son de Boro o de Cadmio, y al ser desplazadas entre los ensambles, 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 Óxido 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 U-235, 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 auto sostendrá; 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 Hirviente (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.

## 6.1 Centrales Nucleares Argentinas

### 6.1.1 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 Único, 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           |

### 6.1.2 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            |



*Ubicación del Central Nuclear Embalse*

### 6.1.3 Central Nuclear Atucha 2

| DATOS GENERALES                          |      |    |
|------------------------------------------|------|----|
| Tipo: Reactor de agua pesada presurizada |      |    |
| Potencia eléctrica bruta                 | 745  | MW |
| Consumo propio                           | 53   | MW |
| Eficiencia                               | 32.0 | %  |

| SISTEMA PRIMARIO                                      |                           |         |
|-------------------------------------------------------|---------------------------|---------|
| 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    |
| SISTEMA MODERADOR                                     |                           |         |
| MEDIO                                                 | Agua pesada               |         |
| CANTIDAD DE CIRCUITOS                                 | 4                         |         |
| CAUDAL                                                | 892                       | Kg/s    |
| NUCLEO DEL REACTOR                                    |                           |         |
| TIPO DE COMBUSTIBLE                                   | Dióxido de Uranio Natural |         |
| CANTIDAD DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES                    | 451                       |         |
| CANTIDAD DE BARRAS DE CONTROL                         | 18                        |         |
| CARGA TOTAL DE URANIO NATURAL                         | 85                        |         |
| QUEMADO MEDIO DE EXTRACCION DE LOS EC                 | 7.500                     | MW d/M  |
| ALMACENAJE DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES                  |                           |         |
| CAPACIDAD DE LA PILETA DE EC QUEMADOS                 | 8+1                       | NUCLEOS |
| ESFERA DE CONTENCION                                  |                           |         |
| PRESION/TEMPERATURA DE DISEÑO                         | 4.8/145                   | BAR/°C  |
| DIAMETRO INTERNO                                      | 56                        | M       |

| SISTEMA SECUNDARIO                                                                                                  |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| TURBINA                                                                                                             |       |       |
| 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 |
| GENERADOR                                                                                                           |       |       |
| Potencia aparente                                                                                                   | 838   | MVA   |
| Tensión de generación                                                                                               | 21 Kv | + -5% |
| CICLO TERMICO                                                                                                       |       |       |
| 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% |       |
| AGUA DE REFRIGERACIÓN PRINCIPAL                                                                                     |       |       |
| CANTIDAD DE BOMBAS                                                                                                  | 3*33% |       |
| TURBOGRUPO HIDRAULICO (POTENCIA                                                                                     | 10    |       |

|                                             |       |  |
|---------------------------------------------|-------|--|
| <b>APARENTE)</b>                            |       |  |
| <b>GENERADORES ELECTRICOS DE EMERGENCIA</b> |       |  |
| <b>CANTIDAD DE GENERADORES</b>              | 4*50% |  |

## 6.2 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 fusionable 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 entrado 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 auto regenerativo” 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 auto regenerativo 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.

## 6.3 Algunos Conceptos Básicos

### 6.3.1 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.

### 6.3.2 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 fisiónar 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 fisiónar el  $U_{235}$ . Para ello los neutrones son termalizados con un moderador, haciéndolos chocar de manera elástica con otros núcleos que no los capturen.

## 6.4 Clasificación de Reactores

|                                            |                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Según su uso                               | Investigación<br>Producción de radioisótopos<br>Producción de energía eléctrica<br>Propulsión naval<br>Reproductor de combustible                                                                                                                     |
| Según la disposición del combustible       | Heterogéneos: combustible en barras<br>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% $U_{235}$ )<br>$U_{235}$<br>$U_{233}$<br>$Pu_{239}$                                                                                                                                                                      |
| Según el moderador                         | $H_2O$<br>$D_2O$<br>Grafito<br>Berilio<br>Compuestos orgánicos (difenilo)                                                                                                                                                                             |
| Según el fluido refrigerante               | Líquidos: $H_2O$ , $D_2O$ , orgánicos<br>Gaseosos: Aire, $CO_2$ , Helio<br>Metales Fundidos: Na, Aleaciones Na, K<br>Pb                                                                                                                               |
| Según el recipiente del núcleo del reactor | Recipiente de presión de acero<br>Reciente de presión de hormigón pretensado<br>Tubos de presión                                                                                                                                                      |
| Según el aspecto neutrónico del reactor    | Térmicos (con moderador)<br>Intermedios (moderación restringida)<br>Rápido (sin moderador)                                                                                                                                                            |

## 6.5 Descripción de Reactores de Potencia

### 6.5.1 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 piletta de enfriamiento hasta que descienda lo suficiente su radiactividad como para permitir que sea reprocesado.

### 6.5.2 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.

### 6.5.3 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 kg/cm<sup>2</sup> a 310°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 vapor del tipo ciclón, siendo finalmente diseccionado a unos secadores 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 pileta 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.

#### **6.5.4 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).

#### **6.5.5 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.

---