

2 ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

2.1 Centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que permiten aprovechar la energía potencial gravitatoria contenida en la masa de agua que transportan los ríos para convertirla en energía eléctrica, utilizando turbinas acopladas a alternadores. Se trata de un proceso que permite un alto nivel de eficiencia energética, ya que se pueden alcanzar grados de eficiencia de hasta un 90%.

Son las más rentables en comparación con otro tipo de centrales eléctricas ya que, aunque los costes iniciales de construcción son elevados, una vez funcionando, los gastos de mantenimiento y explotación son relativamente bajos, mientras que las condiciones pluviométricas sean favorables.

2.1.1 Clasificación de las centrales hidroeléctricas

Aunque existe una gran variedad de tipos de centrales hidroeléctricas convencionales, dado que las características del lugar donde se encuentra la central influyen mucho en su diseño, podrían ser reducidos a dos modelos básicos o a una combinación de los dos.

El primer tipo, denominado *Salto por Derivación de las aguas o Central de Agua Fluyente*, consiste en derivar el agua de un río mediante un embalse pequeño o azud y conducirla hasta la sala de máquinas de la central.

La energía liberada a causa del desnivel existente entre los extremos de dicha conducción es transformada, mediante grupos turbina-alternador, en energía eléctrica. Posteriormente, el agua es restituida al río aguas abajo utilizando un canal de descarga. Este tipo de central no permite almacenar la energía, oscilando el caudal suministrado según las estaciones del año.



Figura 1. Azud de derivación de la central hidroeléctrica de El Corchado en Gaucín (Málaga).

Por su parte, el segundo sistema de aprovechamiento, llamado *Salto por Acumulación de las aguas o Centrales de agua embalsada*, consiste en construir, en un tramo de un río que ofrece un desnivel apreciable, una presa de determinada altura. El nivel del agua alcanzará, entonces, un punto sensiblemente cercano al extremo superior de la presa. A media altura de la misma, para aprovechar el volumen de embalse a cota superior, se encuentra la toma de aguas; y en la base inferior –aguas abajo de la presa–, la sala de máquinas, que aloja al grupo (o grupos) turbina-alternador. La energía liberada por el agua al caer por una conducción forzada del interior de la presa es transformada, mediante dicho grupo (o grupos), en energía eléctrica.

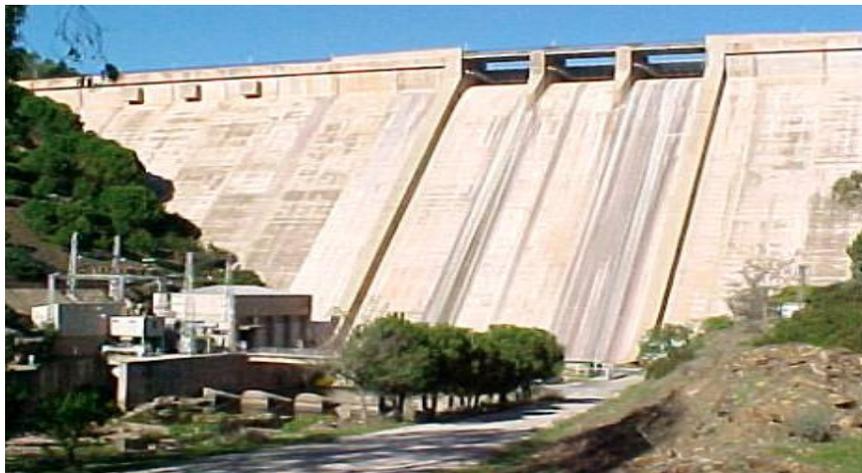


Figura 2. Edificio y presa de la central hidroeléctrica de Guadalmena en Chiclana de Segura (Jaén).

Existe un tercer esquema de *Salto Mixto* consistente en utilizar una presa de embalse en lugar de una de derivación y una conducción en presión desde la presa a la central con dos partes diferenciadas: en primer lugar, un túnel o galería a presión y posteriormente una tubería de presión. Este esquema permite utilizar el desnivel de la presa y ganar más desnivel gracias a la conducción en presión. Las ventajas de este esquema son evidentes: aprovechar la capacidad de regulación del embalse y, al mismo tiempo, aprovechar un mayor desnivel.

A los aprovechamientos con un embalse importante se les denomina también *Salto con Regulación*, y según sea su capacidad pueden ser de regulación *Anual* o *Hiperanual*. Las centrales con regulación Anual permiten regular los caudales estacionales dentro de un mismo año. Los de mayor capacidad de regulación, como son los Hiperanuales, permiten aprovechar caudales de años húmedos en otros años de menor hidraulicidad. Ambos tipos permiten instalar una potencia superior a la del caudal medio del río, con la intención de concentrar la producción en las horas punta de la demanda, en las que el precio del kWh es mayor en el mercado de generación. Por ello las horas de utilización de este tipo de centrales son bajas, oscilando entre 1.200 y 2.000 horas anuales.



Figura 3. Esquema de funcionamiento de una central de bombeo.

Dentro de las *centrales de agua embalsada* se encuentran las *centrales de bombeo o reversibles* (figura 1). Estas centrales cuentan con dos embalses, uno situado en la cota más baja –embalse inferior- y otro situado en la cota más alta -embalse superior-. Este tipo de centrales produce energía eléctrica durante las horas puntas del consumo –las de mayor demanda de electricidad- funcionando como una central hidroeléctrica convencional.

Después, durante las horas valle, cuando la demanda diaria de energía eléctrica se sitúa en sus niveles más bajos –generalmente durante las horas nocturnas y los fines de semana–, se aprovecha la energía de bajo precio sobrante que las centrales termoeléctricas –incluso funcionando a su mínimo técnico– producen por encima de las necesidades del mercado; esta energía acciona un motor situado en la sala de máquinas que, poniendo en funcionamiento una bomba, eleva el agua que se encuentra en el *embalse inferior* (10) hasta el *embalse superior* (1) a través de las *conducciones* (3 y 5). El agua puede ser elevada por un grupo motobomba o por las propias turbinas de la central –si son reversibles– accionadas por los alternadores, que funcionan así como motores. Una vez efectuada la operación de bombeo, el agua almacenada en el *embalse superior* (1) está en condiciones de repetir otra vez el ciclo productivo.

A pesar de que en un ciclo bombeo-turbinación se producen unas pérdidas energéticas del orden del 30%, en términos económicos, esas pérdidas suelen ser menores que la relación de costes de generación entre las horas punta y valle. Además, al utilizar la potencia de estas instalaciones en horas punta se reducen las necesidades de incorporar equipos adicionales de generación en el sistema.

Existen dos tipos de centrales de bombeo: el primero de ellos, denominado «*centrales de bombeo puro*», comprende a aquellas centrales que no pueden ser utilizadas como centrales hidroeléctricas convencionales sin haber bombeado previamente al depósito superior el agua acumulada en el embalse inferior. El segundo tipo agrupa a las centrales que pueden ser utilizadas como centrales hidroeléctricas convencionales sin necesidad de un bombeo previo del agua almacenada en el embalse inferior. Estas centrales reciben el nombre de «*centrales mixtas con bombeo*».

Las centrales hidráulicas pueden clasificarse según otros criterios:

1) Según la altura del salto:

- Centrales de alta presión.

Son aquellas centrales cuyo valor del salto hidráulico es superior a 200 m. (altura meramente orientativa), siendo relativamente pequeño el caudal desalojado (alrededor de unos 20 m³ /s por máquina).

Están ubicadas en zonas de alta montaña, donde se aprovecha el agua de torrentes que suele desembocar en lagos naturales.

- Centrales de media presión.

Se consideran como tales aquéllas que disponen de saltos hidráulicos comprendidos entre 200 y 20 m. aproximadamente, desaguando caudales de hasta 200 m³ /s por cada turbina. Dependen de embalses relativamente grandes, formados en valles de media montaña.

Preferentemente, las turbinas utilizadas son Francis y Kaplan, pudiéndose tratarse de turbinas Pelton para saltos de mayor altura, siempre dentro de los márgenes establecidos.

- Centrales de baja presión.

Se incluyen aquí aquéllas en las que el salto hidráulico es inferior a 20 m., estando alimentada cada máquina por caudales pueden superar los 300 m³ /s.

Para estas alturas y caudales, resulta apropiada la instalación de las turbinas Francis y, especialmente, de las turbinas Kaplan.

2) Según el servicio que presten:

- Centrales de base.

Son las destinadas a suministrar la mayor parte de la energía eléctrica, en servicio permanente, es decir, sin interrupciones de funcionamiento de la instalación, estando en marcha durante largos períodos de tiempo. Son de gran potencia.

- Centrales de punta.

Están destinadas, exclusivamente, para cubrir las demandas de energía eléctrica en las horas de mayor consumo, *horas punta*. Su funcionamiento se puede considerar periódico, en breves espacios de tiempo, o sea, casi todos los días durante determinadas horas.

Han de ser instalaciones de respuesta muy rápida, tanto en lo referente a la puesta en marcha como a la regulación de sus elementos.

- Centrales de reserva.

Son centrales que se tienen programadas para suplir a las centrales de gran producción afectadas de fallos o averías de los equipos.

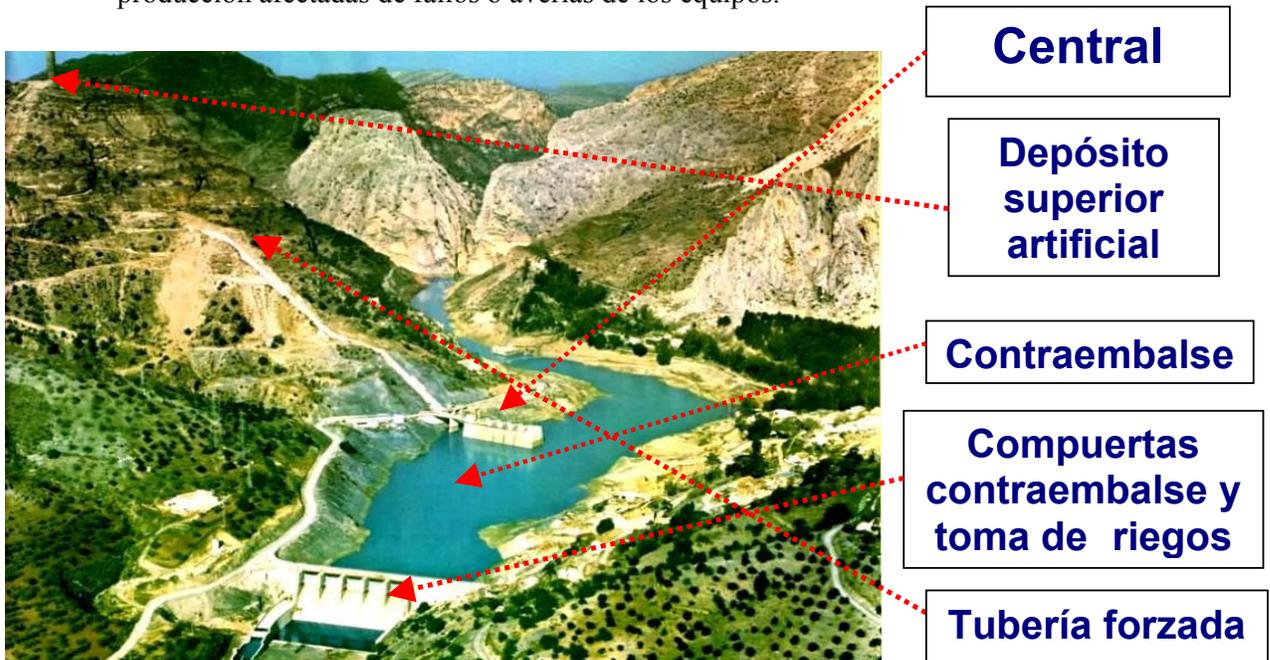


Figura 4. Central hidroeléctrica de bombeo de Tajo en Ardales (Málaga).

2.1.2 Elementos de una central hidroeléctrica

Los principales elementos constructivos de una central hidroeléctrica son:

- 1.- Presa.
- 2.- Canal de derivación.
- 3.- Chimenea de equilibrio.
- 4.- Tubería de presión.
- 5.- Compuertas.
- 6.- Accionamiento de la compuertas.
- 7.- Órganos de obturación (válvulas).
- 8.- Cámara de turbinas.
- 9.- Tubo de aspiración.
- 10.- Canal de desagüe.
- 11.- Casa de máquinas.

- 1.- Presa.

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

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

- 1.- Presas de derivación.
- 2.- Presas de embalse.

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

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

En realidad, las presas tienen casi siempre una función mixta entre las dos anteriores. Se denominarán de derivación o de embalse dependiendo de cuál de ellas predomine.

2.- Canal de derivación.

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

Por lo general, y para evitar filtraciones en el terreno, los canales de derivación están revestidos interiormente de mampostería, hormigón en masa u hormigón armado. Los canales pueden realizarse *en desmonte*, es decir, excavando el terreno, *a media ladera*, o sea excavando la ladera por un lado y disponiendo un terraplén al otro lado y, finalmente, *en terraplén*, es decir, con obra de fábrica a ambos lados. Ésta última es la menos usual por ser la más costosa.

En algunas ocasiones se recurre al canal *en túnel* (túnel) que no debe confundirse con la galería de presión, ya que en esta última la conducción de agua es a presión, mientras que en los túneles, el agua se desplaza por el propio desnivel del terreno, sin carga

hidráulica. En ambos casos, túneles y galerías, se trata de conductos cerrados, mientras que el canal es abierto.

En el origen del canal se dispone un conjunto de obras denominado toma de aguas, que permite el ingreso de las aguas en dicho canal. Las aberturas por donde entra el agua, situadas a una profundidad determinada bajo el nivel normal del embalse, están protegidas por rejillas, al igual que en el caso de los desagües de fondo, para evitar el paso de cuerpos extraños que podrían dañar la turbina si llegaran a ella. Estas rejillas cuentan con medios mecánicos para su limpieza. También pueden existir desarenadores previos a la toma de agua para sedimentar las partículas sólidas antes de entrar el agua en el canal o galería.

Se denomina regulador a la disposición de cierre, cerca del comienzo del canal con la que puede regularse el paso de las aguas dentro de las posibilidades de su capacidad; por ejemplo, durante las riadas, hay que restringir la sección de paso de aguas del regulador para que no se eleve excesivamente el nivel de ellas en el canal.

Como equipos significativos, figuran las correspondientes compuertas o ataguías, destinadas a interrumpir el paso de agua a través de las aberturas cuando las circunstancias lo exigen (parada de turbinas, descargos). A veces, el cierre de las compuertas no es total sino que sólo se trata de un cierre parcial para regular el caudal que entra en el canal.

3.- Chimenea de equilibrio.

Al interrumpir con rapidez la corriente de un líquido que circula con cierta velocidad a través de un conducto, se producen fuertes variaciones de presión sobre las paredes interiores de éste y sobre el elemento que corta el caudal suministrado. Según *la teoría de onda elástica*, se produce un desplazamiento, a una velocidad determinada, de las variaciones de presión, hasta que el sistema se estabiliza. A este fenómeno transitorio se le denomina *golpe de ariete*. El golpe de ariete tiene efectos negativos tales como deformaciones, vibraciones, roturas, aplastamientos, etc. Cuanto mayor es la longitud de la tubería mayores son los efectos negativos del golpe de ariete sobre la misma por lo que es necesario dotarla de elementos que lo amortigüen. Uno de estos elementos es la *chimenea de equilibrio*.

Una chimenea de equilibrio es, en esencia, un pozo vertical o inclinado abierto por la parte superior situado normalmente en la zona de unión entre la galería y la tubería forzada (también pueden estar situadas después de la turbina, en la unión entre el tubo de aspiración y la galería o canal de desagüe). Cuando se produce un golpe de ariete positivo en la tubería junto a la turbina, encuentra menos resistencia a vencer en la chimenea y actúa sobre el agua de ésta, elevando su nivel, produciéndose una deceleración del agua en la tubería. En el caso de un golpe de ariete negativo, baja nivel de agua en la chimenea, originándose una aceleración del agua la tubería. Transforman la energía cinética del agua en energía potencial. De esta forma, evita los cambios de presión bruscos en la tubería.

4.- Tuberías de presión.

Tienen la misión de conducir el agua directamente desde el punto de alimentación establecido, como puede ser la toma de agua asentada en el propio embalse, una cámara de carga, una chimenea de equilibrio o un canal, hasta las turbinas instaladas en la central. En ellas se transforma la energía potencial del agua debido a su altura en energía de presión. Si el salto es inferior a 15 m. de altura, basta con un canal sin carga de presión.



Figura 5. Edificio y tubería forzada de la central hidroeléctrica de Los Órganos en Santiago de la Espada (Jaén).

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

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

Las *tuberías de presión de palastro* son muy empleadas pues pueden adaptarse fácilmente a las más altas presiones. Son más utilizadas las tuberías de palastro de acero que las de hierro, ya que las primeras tienen mayor resistencia y resultan más económicas que las de hierro.

Generalmente, se montan al aire y apoyadas sobre macizos, casi siempre de hormigón en masa. En los puntos de cambio de rasante y de cambio de alineación se establecen apoyos fijos denominados anclajes y constituidos, por un macizo de hormigón reforzado interiormente por una estructura metálica. Algunas veces, se refuerzan las tuberías metálicas, por diversos procedimientos; estos refuerzos aumentan la resistencia de la tubería cuando se llega a un diámetro determinado que no conviene reducir para no aumentar excesivamente la velocidad del agua y los golpes de ariete.

Las *tuberías de uralita* (amianto - cemento) se emplean saltos de poca potencia y alturas hasta 150 m. Son baratas y, dentro de los límites citados anteriormente, son recomendables, ya que han dado buenos resultados

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

Las tuberías de gran diámetro se fabrican sobre el terreno y las de pequeño diámetro pueden fabricarse fuera de él aunque, en este caso, conviene que la fabricación se realice cerca de la obra para reducir los gastos de transporte.

Estas tuberías van apoyadas en el terreno mediante una solera apropiada, generalmente enterradas o semienterradas, casi nunca al aire.

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

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

5.- Compuertas.

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

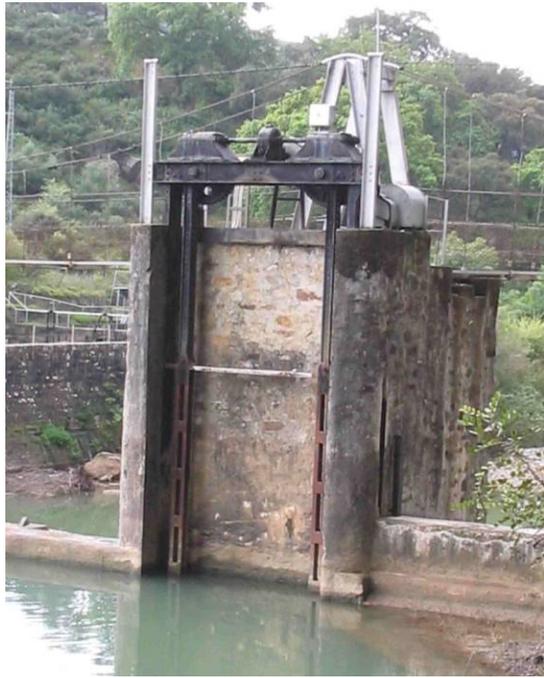


Figura 6. Compuertas de aliviadero de superficie del azud de la central hidroeléctrica de El Corchado (Málaga).

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

6.- Accionamiento de las compuertas.

Para elevar una compuerta es necesario un esfuerzo que ha de ser superior al peso propio de la compuerta y a los rozamientos originados por la presión hidráulica; en las compuertas de rodadura y de segmento, el peso propio es mayor que el rozamiento

producido por la presión hidráulica, por lo que la acción de dicho peso propio basta para provocar el descenso de la compuerta. En otro caso, ha de preverse también un accionamiento.

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



Figura 7. Accionamiento de las compuerta de limpia del azud de la central hidroeléctrica de Buitreras en Cortes de la Frontera (Málaga).

Para las compuertas de mayor peso se utilizan varios dispositivos

- a) cremallera con rueda sencilla o varias ruedas.
- b) cremallera con accionamiento de engranaje y tornillo sin fin.
- c) torno de husillo horizontal.

Para las grandes compuertas como son, por ejemplo, las instaladas en los aliviaderos de coronación de las presas de embalse, se utilizan exclusivamente dispositivos oleohidráulicos con servomotor, mandados por válvulas de gobierno manuales o

eléctricas a distancia o, también, con mando totalmente automático. En caso de defectos tales como rotura de tuberías, embalamiento de las turbinas, etc... estos accionamientos están equipados con paro automático.

7.- Órganos de obturación (Válvulas).

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

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

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

Los órganos de obturación están frecuentemente provistos de un dispositivo para el mando a distancia del cierre. El accionamiento de la válvula puede provocarse desde un lugar cualquiera, aunque el caso más frecuente es que se realice desde el cuadro de distribución de la central, actuando la corriente eléctrica sobre un electroimán o sobre pequeños motores que, a su vez, actúan sobre el mando principal de la válvula, por medio de contadores. Además, debe preverse el mando manual en la inmediata vecindad de la válvula.



Figura 8. Válvula de entrada a grupo de la central hidroeléctrica de Ronda (Málaga).

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

1.- *Válvulas de compuerta.*

2.- *Válvulas de mariposa.*

3.- *Válvulas esféricas.*

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

1.- Las *válvulas de compuerta*, como su nombre indica se accionan de la misma forma que una compuerta, es decir; por desplazamiento vertical de un tablero deslizante por unas guías. Las válvulas de compuerta se utilizan en canales abiertos, para el vaciado de fondo en los embalses, etc...

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

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

8.- Cámara de turbinas.

Se denomina *cámara de turbinas* al espacio destinado en una central hidroeléctrica para el alojamiento de las turbinas hidráulicas.

Respecto a los tipos de turbinas empleadas, las más utilizadas son las Pelton, Francis y Kaplan, para desniveles grandes, medios y bajos, respectivamente. Los grupos (turbina-alternador) de mayor potencia son los de eje vertical, siendo los pequeños de eje horizontal. Los grupos utilizados en los bombeos modernos son los binarios, es decir, la turbina hace de bomba cambiando el giro del grupo y el alternador actúa como motor.

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

En cuanto a la disposición de las turbinas, puede ser vertical u horizontal.

1) Turbinas de eje vertical.

Ventajas:

a) Posibilidad de montar los generadores por encima del nivel de agua, hasta la altura más conveniente, por pequeño que sea el salto.

b) Economía de instalación.



Figura 9. Planta de turbina de la central hidroeléctrica de Nuevo Chorro en Alora (Málaga).

Inconvenientes:

a) Si la turbina ha de accionar un generador de eje horizontal, son necesarios engranajes de transmisión.

b) Las cargas verticales correspondientes a las máquinas han de ser sostenidas por un soporte: cojinete de empuje.

2) Turbinas de eje horizontal.

Ventajas:

a) Soportes cojinetes normales.

b) Transmisión directa a ejes horizontales.

c) Más fácil vigilancia porque todos los elementos están a la misma altura.



Figura 10. Turbina Francis y alternador horizontal de la central hidroeléctrica de Gobantes en Ardales (Málaga).

Inconvenientes:

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

9.- Tubo de aspiración.

El *tubo de aspiración* sirve de enlace entre la turbina y el desagüe y para aprovechar, además, el salto entre ambos elementos. Se construye de hormigón o de chapa de acero y ha de tener una sección variable para conseguir la máxima recuperación de la energía cinética del agua a la salida del rodete de la turbina

En las turbinas Pelton no tiene importancia la recuperación de la energía existente a la descarga de la rueda y, además, entre el centro de la rueda y el nivel de agua del desagüe hay una distancia que representa una proporción muy pequeña de la altura total del salto. Pero en los restantes tipos de turbina (Francis, hélice y Kaplan), la velocidad

de salida del rodete es elevada y el rendimiento con descarga libre sería muy bajo, por lo que se precisa realizar la recuperación correspondiente a la velocidad de descarga.

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

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

10.- Canal de desagüe.

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

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

11.- Casa de máquinas.

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

Un criterio de clasificación es el siguiente:

1.- Centrales al exterior.

2.- Centrales subterráneas.

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

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

Si la casa de máquinas no puede situarse en la inmediata cercanía de la presa, lo mejor es situarla de forma que el canal de desagüe sea de corta longitud. Esta es la disposición adoptada por ejemplo en la central de Saucelle, sobre el río Duero. Esta constituida por 4 turbinas Francis, de eje vertical y potencia unitaria de 86500 Cv que accionan otros tantos generadores de 75000 KVA. La casa de maquinas esta situada en la ladera del río Duero, habiéndose excavado parte de ella en la roca viva. Las tuberías forzadas que conducen el agua hasta las turbinas, tienen 5,7 m. de diámetro.

2.1.3 Funcionamiento de una central hidroeléctrica convencional

En la figura 2 se ha representado el esquema de una central hidroeléctrica convencional a pie de presa y las partes que la componen. Su funcionamiento se pasa a describir seguidamente.

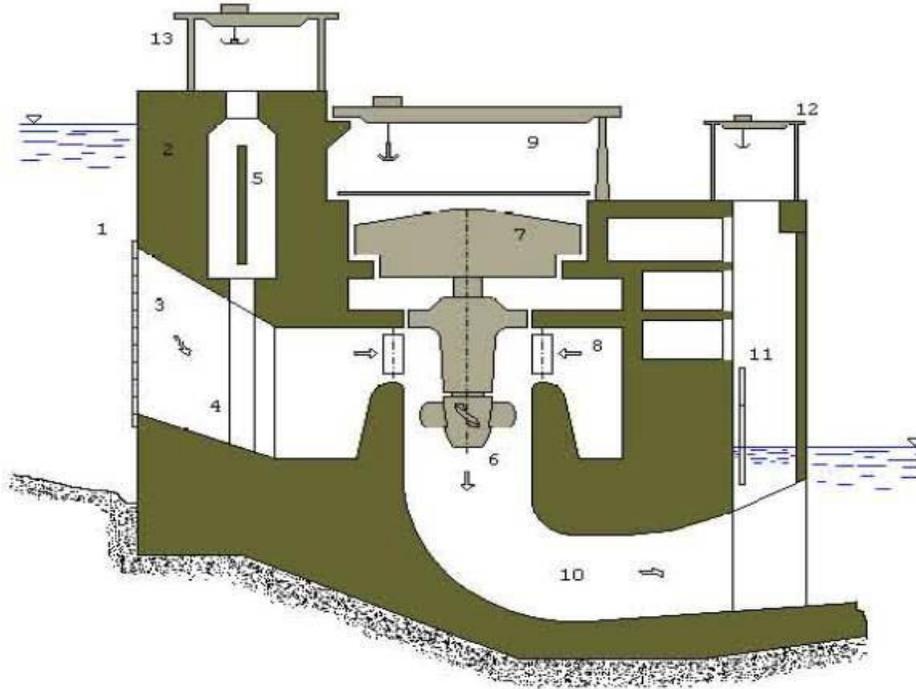


Figura 11. Esquema de una central hidráulica a pie de presa.

- Embalse.
- Presa de contención.
- Entrada de agua a las máquinas (toma), con reja.
- Conducto de entrada del agua.
- Compuertas planas de entrada, en posición "izadas".
- Turbina hidráulica.
- Alternador.
- Directrices para regulación de la entrada de agua a turbina.

- Puente de grúa de la sala de máquinas.
- Salida de agua (tubo de aspiración).
- Compuertas planas de salida, en posición "izadas".
- Puente grúa para maniobrar compuertas salida.

El funcionamiento de la central representada en al figura 2 es, básicamente, el siguiente: gracias a una *presa* (2), ubicada en el lecho de un río, se acumula una cantidad de agua que forma un *embalse* (1). La energía potencial del salto generado se transforma posteriormente en energía eléctrica. Para ello, se sitúan en el paramento aguas arriba de la presa unas tomas de agua formadas por una bocina de admisión, protegida por una *rejilla metálica* (3), y por una cámara de compuertas que controla la entrada del agua a una *tubería forzada* (4). Normalmente, ésta atraviesa el cuerpo de la presa y tiene por objetivo llevar el agua desde las tomas hasta los equipos de la central eléctrica. El agua, a presión de la tubería forzada, va transformando su energía potencial en cinética, es decir, va adquiriendo velocidad. Al llegar a las máquinas, actúa sobre los álabes del rodete de la *turbina* (6), haciéndolo girar. El rodete de la turbina está unido por un eje al rotor del *generador* (7) que, al girar con los polos excitados por una corriente continua, induce una corriente alterna de media tensión y alta intensidad. Mediante transformadores, es convertida en corriente de baja intensidad y alta tensión. El transformador eleva la tensión de la energía eléctrica generada en el alternador (normalmente ente 6 y 20 Kv) hasta la tensión de la red de transporte (132, 220 o 440 Kv). La red eléctrica recibe la electricidad de las centrales generadoras y la transporta hasta los puntos de consumo. El agua, una vez que ha cedido su energía, es restituida al río, aguas abajo de la central a través del canal de desagüe (10). Normalmente, una central hidroeléctrica dispone de varios grupos turbina-alternador. El conjunto de éstos suele estar alojado en una sala de máquinas o edificio de la central propiamente dicho.

Por último, señalar que, actualmente, los aprovechamientos hidroeléctricos funcionan con muy poco personal, gestionándose desde los centros de control que poseen las propias centrales eléctricas. Existen para ello tres conceptos fundamentales:

- *Automatismo*: se utiliza principalmente para saltos fluyentes. La potencia de los grupos se adapta al caudal que aporta el río, inyectando a la red toda la energía que se produce. Cuando la central se para por algún fallo recuperable, el arranque se produce automáticamente. Solamente es necesario personal para el mantenimiento normal de los equipos e instalaciones.

- *Telemando*: se utiliza para aprovechamientos con regulación. La central funciona con las consignas que se envían desde el centro de control, el cual puede aumentar o disminuir la potencia de acuerdo con la demanda. La central sólo requiere personal para el mantenimiento de las instalaciones.

- *Telecontrol*: desde el centro de control se conocen y adaptan en todo momento los parámetros de funcionamiento de la central.

2.1.4 Ventajas e inconvenientes asociados a las centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas permiten el aprovechamiento de una fuente de energía autóctona y con carácter renovable.

Con respecto al sistema eléctrico, las ventajas de las centrales hidroeléctricas son varias:

- Tienen unos costes de combustible nulos y unos costes de operación y mantenimiento bajos comparados con los de otros sistemas de producción de energía eléctrica.
- Las centrales hidráulicas de pie de presa y los bombeos facilitan la regulación del sistema eléctrico, de modo que automáticamente se adapta la producción al consumo. Este método es muy simple y se basa en mantener constantes las revoluciones del conjunto turbina-alternador: Cuando la demanda instantánea aumenta, los generadores de estas centrales de regulación frecuencia-potencia tienden a frenarse porque les falta agua para producir la energía demandada; en ese momento el regulador de turbina se abre automáticamente aumentando el caudal de turbinado, manteniendo las revoluciones de la máquina y ajustando la potencia al consumo. Igualmente, cuando la demanda baja, la máquina que regula tiende a acelerarse, por lo que también instantáneamente el regulador se

cierra, disminuyendo los caudales y las potencias. La velocidad de incremento y disminución de potencia en una máquina hidráulica es muy elevada, pasando en muy pocos segundos de la potencia mínima a la máxima, y viceversa.

- Cuando se trata de levantar «un cero» de la red son las que van por delante, regulando y dando tiempo a la entrada de las centrales térmicas o nucleares, mucho más rígidas en la rapidez de aumento de potencia inyectada en la red.
- Compensan la energía reactiva que introducen en la red algunos sistemas rígidos, como el eólico, y que gracias a ello permiten la utilización de estos nuevos sistemas de energía renovable.
- Poseen una larga vida útil debido a que las máquinas hidráulicas son equipos que giran a muy pocas revoluciones.
- Además, en el caso de la Península, donde gran parte de las precipitaciones son invernales, coincide la época de mayor generación hidroeléctrica con la de mayor demanda. Aunque en los últimos años en las zonas mediterránea y andaluza la época de mayor demanda es el verano debido al uso del aire acondicionado.

En cuanto a los inconvenientes, desde un punto de vista de tecnología de generación de electricidad, pueden citarse:

- Es difícil hacer predicciones a largo plazo de la energía producible, debido a varias causas: el caudal variable de los ríos, el efecto de los regadíos sobre los recursos hidráulicos y la rigidez del uso de muchos embalses.
- La generación de energía hidroeléctrica suele estar alejada de los centros de consumo, lo que obliga a la construcción de líneas de transporte, provocando pérdidas de energía, con el correspondiente encarecimiento de la inversión y un impacto ambiental negativo.

Desde un punto de vista medioambiental y del entorno, la generación de energía hidroeléctrica presenta ventajas tales como:

- Se trata de una energía renovable que se genera sin consumo de combustibles fósiles y, por lo tanto, sin emisión de CO₂. Se estima que cada Kwh producido en una central hidroeléctrica evita frente a una central de carbón la emisión media a la atmósfera de 1 Kg. de CO₂, 7 gramos de SO₂ y 3 gramos de NO_x. En

este sentido, tanto en los países de la UE (entre los que se encuentra España) como en gran parte del resto de los países desarrollados se ha impulsado la utilización de las llamadas nuevas fuentes de energía renovable, entre las cuales – y junto con la solar, la eólica y la biomasa, fundamentalmente – se ha acordado incluir, a nivel internacional, la energía hidráulica, aprovechable a base de minicentrales. Las minicentrales son centrales hidráulicas de pequeña potencia, menos de 5 Mw en España y menos de 10 Mw en Europa, que tienen un ordenamiento administrativo y económico llamado de *Régimen Especial*.

- La construcción de embalses permite la regulación de caudales y, por tanto, el mejor aprovechamiento de los recursos hídricos. Por ejemplo, en España, que es un país en el que menos de la mitad de su extensión se puede considerar como zona árida o semiárida, sólo el 8-9 % de las aportaciones naturales podrían aprovecharse si no existieran embalses de regulación, frente al 37 –47 % que puede utilizarse actualmente gracias a los 56.000 Hm³ de capacidad de los embalses reguladores, de la que, aproximadamente el 40% corresponde a embalses construidos por empresas hidroeléctricas. Otros efectos positivos de los embalses son:
 - Regulación de los ríos. Permite la conservación de un caudal mínimo, incluso en épocas de estiaje.
 - Evitación de los efectos de las sequías.
 - Protección frente a avenidas.
 - Suministro de agua de abastecimiento a poblaciones.
 - Riego y producción agrícola.
 - Desarrollo económico a nivel local, regional y nacional.
 - Desarrollo de actividades turísticas y de ocio.
- Puede llegar a mejorar la calidad del agua como consecuencia de la eliminación de las materias sedimentables de decantación, lo que facilita la utilización del agua para el abastecimiento de poblaciones.
- La laminación de las avenidas evita inundaciones en los terrenos aguas abajo del embalse.
- Los embalses de gran superficie pueden mejorar las condiciones de habitabilidad del entorno en zonas secas o semiáridas.
- Embellecen la zona.

En cuanto a los inconvenientes, desde un punto de vista medioambiental:

- La construcción de grandes presas genera efectos negativos en el entorno durante el periodo de construcción y después: inundación de tierras cultivables e incluso, de pequeños núcleos urbanos, desplazamientos de población, alteración del clima local (aumento de la humedad relativa debido a la evaporación). Esto provoca alteraciones de la flora y la fauna, pudiendo aumentar las bacterias y las algas, con la correspondiente modificación de la concentración de oxígeno. En centrales construidas en zonas tropicales, incluso se pueden llegar a generar focos infecciosos debido al aumento de la concentración de bacterias.
- Las presas son obstáculos para especies de peces que han de remontar el río para desovar (salmones).
- Los sedimentos se acumulan en el embalse, empobreciéndose de nutrientes el resto del río hasta la desembocadura.

En general, el balance medioambiental es positivo.

2.2 La energía hidroeléctrica en España

Las primeras centrales hidroeléctricas se comenzaron a construir en España a finales del siglo XIX. En 1901, el 40% de las centrales eléctricas del país era de tipo hidroeléctrico. Pero existía un inconveniente: al ser generada la electricidad en forma de corriente continua no se podía transportar a larga distancia por lo que sólo se aprovechaban los recursos hídricos que estaban cerca de los centros de consumo.

A principios del siglo XX, el descubrimiento de la corriente alterna permite el transporte de la energía generada a larga distancia y se construyen las primeras grandes centrales hidráulicas.

El número de centrales hidráulicas construidas en España fue creciendo y en 1940 se contaba con una potencia hidroeléctrica instalada de 1340 MW. Sin embargo, a partir de los años sesenta se potenció la construcción de centrales térmicas de combustibles fósiles por lo que la participación porcentual de la potencia hidroeléctrica en la instalada en España ha ido descendiendo. La construcción de una central hidráulica implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones

donde el carbón y el petróleo son más baratos. Además, aunque el flujo de agua en los ríos es inagotable, los emplazamientos en los que se pueden construir centrales hidroeléctricas en buenas condiciones económicas son limitados. Por otro lado, ha aumentado la sensibilidad ante los efectos medioambientales de las represas de los ríos. Esto, unido a los elevados costes de transporte de la electricidad a largas distancias explican el retroceso de esta energía primaria en términos relativos.

Esta evolución queda reflejada en la tabla 1:

Tabla 1. Evolución de la potencia hidroeléctrica en España (1940-2001).

Año	Potencia (MW)		Participación Hidroeléctrica / total (%)
	Hidroeléctrica	Total	
1940	1350	1731	78,0
1945	1458	1876	77,7
1950	1906	2553	74,7
1955	3200	4103	78,0
1960	4600	6567	70,0
1965	7193	10173	70,7
1970	10883	17924	60,7
1975	11954	25467	46,9
1980	13577	31144	43,6
1985	14661	41467	35,4
1990	16642	45376	36,4
1992	16940	46307	36,7
1993	16950	46385	36,5
1994	17375	47196	36,8
1995	17430	47829	36,4
1996	17610	49292	35,7
1997	17640	51012	34,5
1998	17760	52013	34,1
1999	17860	53753	33,3
2000	17881	55904	31,9
2001	18060	58025	31,1

Únicamente en los países más desarrollados, la explotación eléctrica de los recursos hidráulicos ha alcanzado un gran nivel. Por el contrario, en la parte del planeta ocupada por países en vías de desarrollo, su explotación está aún empezando debido a las fuertes inversiones de capital requeridas.

Actualmente, el parque español de centrales hidroeléctricas presenta una gran diversidad en cuanto a tamaño de las instalaciones. Hay en servicio 20 centrales de más de 200 MW que representan conjuntamente alrededor del 50% de la potencia hidroeléctrica total de España. Las de mayor potencia son las de Aldeadávila, con 1.139,2 MW de potencia total, José María Oriol, con 915,2 MW, y el aprovechamiento de Cortes-La Muela, con 908,3 MW de potencia conjunta.

Tabla 2. Distribución de centrales hidroeléctricas por Comunidades Autónomas y provincias.

Provincia	Número de centrales	Potencia (MW)	Provincia	Número de centrales	Potencia (MW)
Andalucía	79	1.082	- Valladolid	25	23
- Almería	1	...	- Zamora	17	754
- Cádiz	3	9	Cataluña	285	2.266
- Córdoba	8	59	- Barcelona	95	118
- Granada	18	82	- Girona	91	144
- Huelva	0	0	- Lleida	96	1.689
- Jaén	26	180	- Tarragona	3	315
- Málaga	13	481	Comunidad Valencian	30	1.269
- Sevilla	10	271	- Alicante	2	2
Aragón	102	1.533	- Castellón	8	48
- Huesca	59	1.097	- Valencia	20	1.219
- Teruel	21	29	Extremadura	34	2.165
- Zaragoza	22	407	- Badajoz	11	194
Asturias	40	725	- Cáceres	23	1.971
Canarias	1	1	Galicia	130	2.902
Cantabria	19	424	- A Coruña	43	326
Castilla - La Manchr	100	760	- Lugo	23	478
- Albacete	29	41	- Ourense	44	2.008
- Ciudad Real	5	2	- Pontevedra	20	90
- Cuenca	28	147	La Rioja	18	40
- Guadalajara	23	300	Madrid	15	98
- Toledo	15	270	Murcia	17	38
Castilla y León	202	3.912	Navarra	93	392
- Ávila	15	74	País Vasco	46	146
- Burgos	27	39	- Álava	5	33
- León	44	409	- Guipúzcoa	29	24
- Palencia	20	74	- Vizcaya	12	89
- Salamanca	26	2.513	Total	1.211	17.753
- Segovia	13	10			
- Soria	15	16			

Otras 15 centrales, que poseen entre 100 MW y 200 MW, representan conjuntamente alrededor del 12% de la potencia hidroeléctrica total; 36 centrales más cuentan con una potencia entre 50 MW y 100 MW y suponen el 14,3% de la potencia global.

En la tabla 2 se muestra la distribución de las centrales hidroeléctricas por Comunidades Autónomas y provincias en el año 1998.

En cuanto a la producción de energía eléctrica en España y el peso de la energía hidroeléctrica en la misma, la tabla 3 refleja los datos correspondientes al año 2004:

Tabla 3. Balance de la energía eléctrica total en España.

Concepto	Millones de KWh		%variación
	2003	2004	
Producción en régimen ordinario:			
Hidroeléctrica	38.774	29.978	-22,7
Termoeléctrica	108.470	127.684	17,7
Termoeléctrica nuclear	61.875	63.153	2,1
Total Régimen Ordinario	209.119	220.815	5,6
Producción del Régimen Especial ⁽¹⁾ :			
Renovables y residuos	21.391	23.587	10,3
Cogeneración y tratamiento de residuos	33.903	34.023	0,4
Total Régimen Especial	55.294	57.610	4,2
Producción bruta total	264.413	278.425	5,3
Consumos propios	11.316	12.109	7,0
Producción neta	252.097	266.316	5,2
Consumo en bombeo	4.678	4.562	-2,5
Saldo internacional	1.264	-2.939	...
Energía disponible para mercado	249.683	258.815	3,7
Pérdidas en transporte y distribución	19.394	20.085	3,6
Consumo neto	230.289	238.730	3,7

(1) Están acogidos al ordenamiento administrativo y económico de régimen especial, además de las centrales hidráulicas de potencia menor a 50 Mw, las centrales eólicas, biomasa, residuos y cogeneración.

En la figura 12 se ve reflejado con mayor claridad el peso de la producción hidroeléctrica respecto del total de la producción en el año 2004.

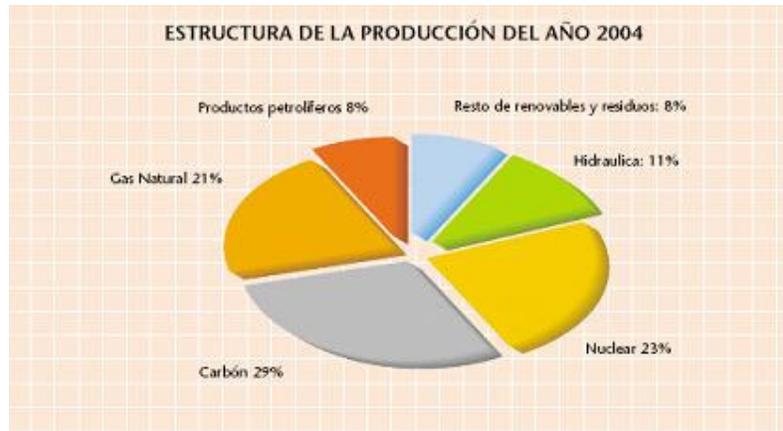


Figura 12. Estructura de la producción de energía eléctrica en el año 2004.

2.3 La Unidad de Producción Hidráulica Sur (UPH Sur)

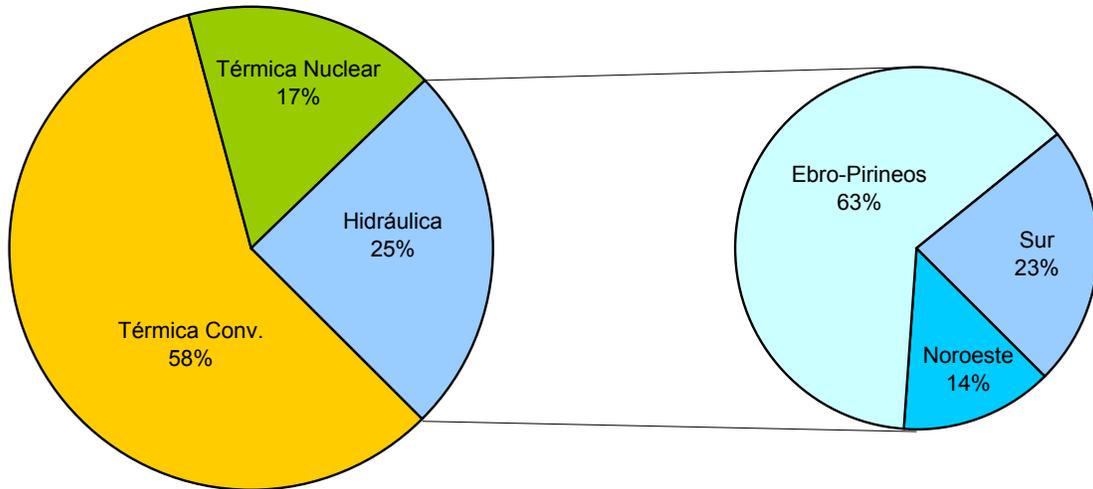
El Grupo Endesa desarrolla su actividad de generación de energía eléctrica a través de Endesa Generación S.A. Su potencia instalada representa aproximadamente el 42% de la potencia total instalada dentro del Sistema Eléctrico Español. Dentro de la potencia instalada por Endesa Generación aproximadamente el 58% corresponde a centrales Térmicas convencionales, el 25% en Hidráulicas y el 17% Térmicas Nucleares.

En cuanto a la producción hidráulica existen tres unidades:

- Noroeste.
- Ebro – Pirineos.
- Sur.

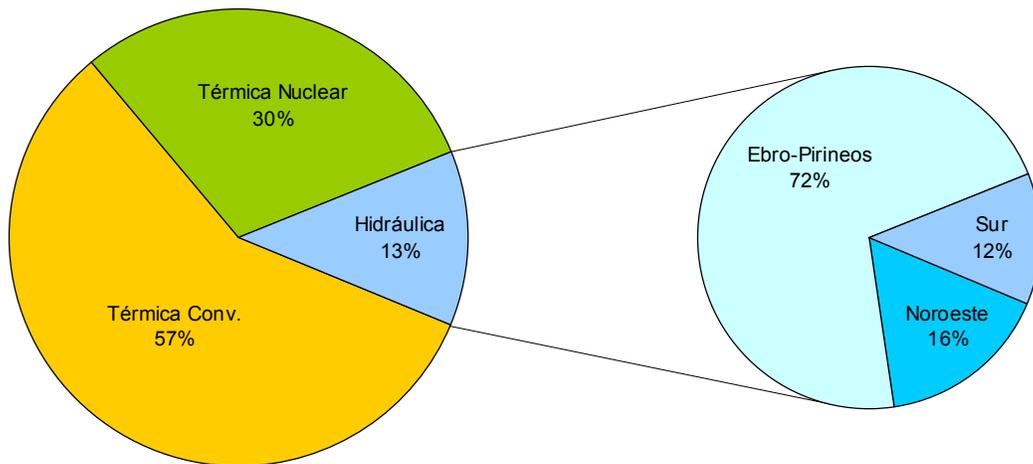
En la figura 13 se observa la contribución de cada una de las unidades a la potencia instalada.

Figura 13. Potencia instalada de Endesa Generación.



La distribución cambia si se trata de producción de energía eléctrica. En la figura 14 se refleja la distribución de la producción en el año 2003 en Endesa Generación.

Figura 14. Distribución de la producción de electricidad en Endesa Generación.



Cada una de estas Unidades de Producción Hidráulica se dividen en Unidades Territoriales, las cuales, a su vez, se estructuran en Agrupaciones de Centrales Hidráulicas.

La UPH Sur es la Unidad de Producción Hidráulica dentro de la cual tiene ámbito el documento cuya metodología se desarrolla en este proyecto.

La UPH Sur se encuentra organizada en dos Unidades Territoriales:

- Unidad Territorial Córdoba, a la que pertenecen las Agrupaciones de Linares, Córdoba y Guadiana.
- Unidad Territorial Antequera, a la que pertenecen las Agrupaciones de Sevilla, Antequera y Granada.

En la figura 15, se muestra la división territorial de las agrupaciones y las Centrales que corresponden a cada una de ellas:

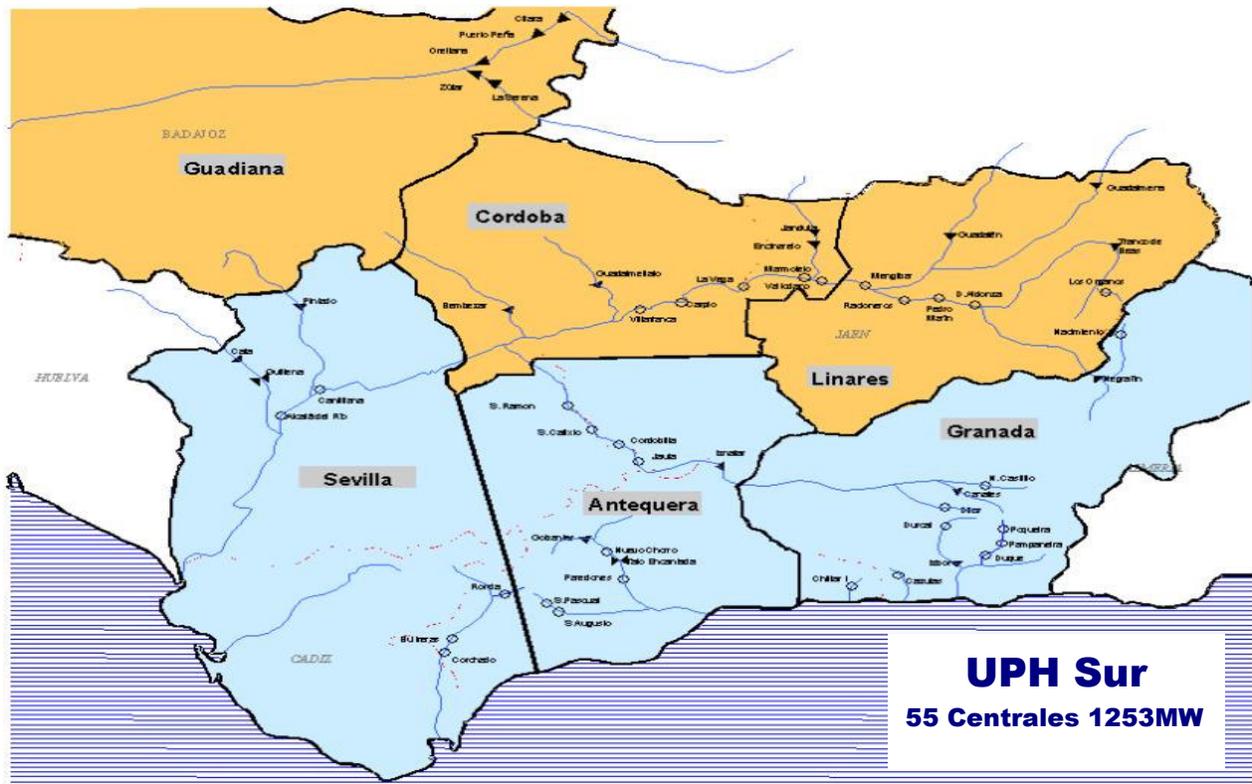


Figura 15. Plano de las agrupaciones de la UPH Sur.

La UPH Sur comprende, por lo tanto, un total de 55 centrales, con 107 grupos. En la siguiente tabla se refleja la distribución de estas centrales entre las distintas Agrupaciones así como la contribución de cada una de estas Agrupaciones a la producción de energía eléctrica de la UPH Sur:

Tabla 4. Distribución de centrales hidroeléctricas de la UPH Sur.

	Agrupación	nº de Centrales	nº de grupos	Potencia Instalada (MW)	Prod Bruta Media Anual (GWh)
UT CÓRDOBA	Linares	8	16	92,1	105,7
	Córdoba	9	19	78,3	126,3
	Guadiana	7	12	233,3	199,1
		24	47	403,7	431,1
UT ANTEQUERA	Sevilla	8	20	289,5	233,4
	Antequera	11	23	481,3	298,5
	Granada	12	17	78,9	171,1
		31	60	849,7	703,0
	Convencional	53	100	683,4	894,4
	Bombeo	2	7	570,0	239,7
	UPH Sur	55	107	1.253,4	1.134,1