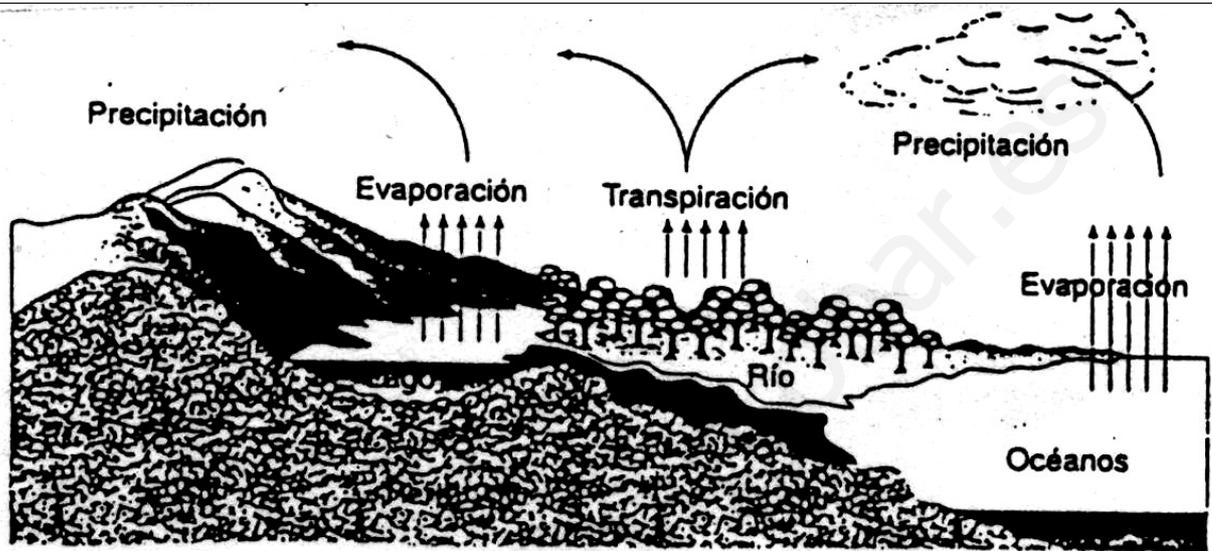


ENERGÍA HIDRÁULICA

I. Introducción

La energía del agua o energía hidráulica, es esencialmente una forma de energía solar. El Sol comienza el ciclo hidrológico evaporando el agua de lagos y océanos y calentando el aire que la transporta. El agua caerá en forma de precipitación (lluvia, nieve, etc.) sobre la tierra y la energía que posee aquella por estar a cierta altura (energía potencial) se disipa al regresar hacia lagos y océanos, situados a niveles más bajos.



Ciclo del agua

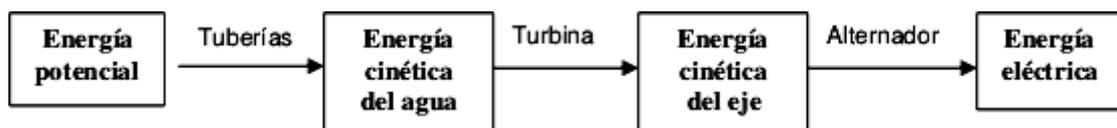
La energía hidráulica, es la energía que tiene el agua cuando se mueve a través de un cauce (energía cinética) o cuando se encuentra embalsada a cierta altura (es decir, en forma de energía potencial). En este momento toda la energía hidráulica del agua estará en forma de energía potencial. Cuando se deje caer, se transformará en energía cinética, que puede ser aprovechada para diversos fines. Se trata de una energía renovable.

Desde hace unos dos mil años, toda la energía hidráulica se transformaba en energía mecánica que,

posteriormente, tenía aplicaciones específicas en norias, molinos, forjas,...

A partir del siglo XX se empleó para obtener energía eléctrica. Son las centrales hidroeléctricas. Se caracteriza porque no es contaminante y puede suministrar trabajo sin producir residuos (rendimiento 80%).

Toda central hidroeléctrica transforma la energía potencial del agua acumulada en el embalse en energía eléctrica a través del alternador. Las diferentes transformaciones de energía que se producen son:



En las tuberías, la energía potencial del agua se convierte en cinética. En las turbinas, la energía cinética del agua se transforma en energía cinética de rotación

del eje de las turbinas, y por último en el alternador, la energía cinética de rotación del eje se convierte en energía eléctrica.

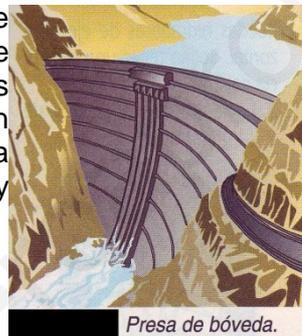
II. Constitución de una central hidroeléctrica

Las partes principales de una central hidráulica son:

- Presa
- Toma de agua
- Canal de derivación
- Cámara de presión
- Tubería de presión
- Cámara de turbinas
- Canal de desagüe
- Parque de transformadores.

Presa: Es la encargada de almacenar el agua y provocar una elevación de su nivel que permita encauzarla para su utilización hidroeléctrica. También se emplea para regular el caudal de agua que circula por el río y aumentar el potencial hidráulico. Las presas pueden ser de varios tipos:

- De gravedad: su propio peso sirve para contrarrestar el empuje del agua; suelen estar huecas, aprovechando ese espacio para colocar mecanismos. Suele ser recta o cóncava.
- De bóveda: la presión del agua se transmite a las laderas de la montaña. Suele ser convexa, de modo que, cuanto más empuja el agua del embalse, más se clavan los lados de la presa en las laderas de la montaña. Son presas más pequeñas, y baratas.



Todo dique debe permitir el escape del exceso de agua para evitar accidentes. El excedente de agua se puede eliminar a través de un aliviadero (por debajo de la cima de la presa), mediante un pozo de desagüe (interior del embalse) o por un túnel de desagüe (bordeando el dique) .

Canal de derivación: Es un conducto que canaliza el agua desde el embalse. Puede ser abierto (canal), como los que se construyen siguiendo la ladera de una montaña, o cerrado (tubo), por medio de túneles excavados.

Las conducciones deben ser lo más rectas y lisas posibles para reducir al mínimo las pérdidas por fricción, necesitando además un sistema para regular el caudal (compuertas o válvulas) .

Tiene menos pendiente que el cauce del río. Si el salto es inferior a 15 m, el canal desemboca directamente en la cámara de turbinas.

En su origen dispone de una o varias tomas de agua protegidas por medio de rejillas metálicas para evitar que se introduzcan cuerpos extraños .

Cámara de presión: Es el punto de unión del canal de derivación con la tubería de presión. En esta

cámara se instala la chimenea de equilibrio. Este dispositivo consiste en un depósito de compensación cuya misión es evitar las variaciones bruscas de presión debidas a las fluctuaciones del caudal de agua provocadas por la regulación de su entrada a la cámara de turbinas. Estas variaciones bruscas son las que se conocen como golpe de ariete.

Tubería de presión: También llamada tubería forzada, se encarga de conducir el agua hasta la cámara de turbinas. Las tuberías de este tipo se construyen de

diferentes materiales según la presión que han de soportar: palastro de acero, cemento-amianto y hormigón armado .

Cámara de turbinas: Es la zona donde se instalan las turbinas y los alternadores. Además de las turbinas, existen otros dispositivos captadores: las ruedas hidráulicas .

La turbina es una máquina compuesta esencialmente por un rodete con álabes o palas unidos a un eje central giratorio (velocidad de giro superior a 1000 rpm). Su misión es transformar la energía cinética del agua en energía cinética de rotación del eje. El alternador, cuyo eje es la prolongación del eje de la turbina, se encarga de transformar la energía cinética de rotación de éste en energía eléctrica.

Los elementos básicos de una turbina son:

- **Canal de admisión:** Conducto por donde penetra el agua
- **Distribuidor:** Paredes perfiladas que permiten encauzar el agua hacia el elemento móvil
- **Rodete:** Dispositivo portador de los álabes, perfilados para que absorban con la mayor eficacia posible la energía cinética del agua .

Las turbinas empleadas en las centrales hidráulicas se dividen en dos tipos:

- **Turbinas de acción**

- **Turbinas de reacción**

Las **turbinas de acción** son aquellas que aprovechan únicamente la velocidad del agua, es decir su energía cinética.

El modelo más habitual es la turbina **Pelton**, se emplea para centrales de pequeño caudal y con un gran salto de agua, y consta de un eje horizontal y un disco circular o rodete que tiene montados unos álabes o cucharas de doble cuenca a los que llega el agua impulsada por inyectores que regulan el caudal.

Puede desarrollar velocidades de giro de unas 1000 rpm. Para aumentar la potencia basta aumentar el número de chorros. Tiene una eficacia de hasta el 90%.

Cada tobera lleva un deflector para regular la presión del agua sobre los álabes. En cada rodete es posible montar hasta 4 toberas. Puede utilizarse en saltos de altura superior a 200 m, pero requiere una altura mínima de 25 m.

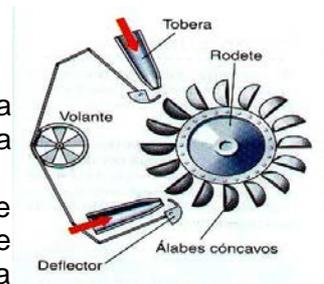
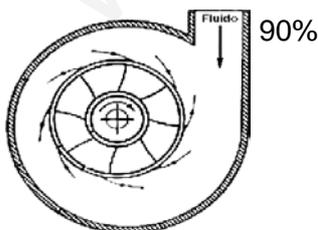
Turbina Pelton

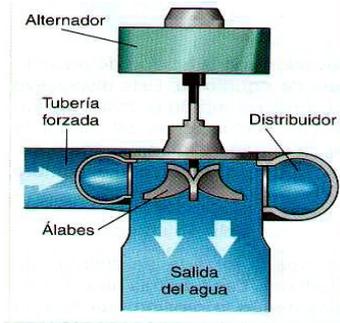
Existen otros modelos de turbinas de acción como la **Turgo de inyección lateral** y la de **Ossberger** o **Banki-Michell de doble impulsión**.

Las **turbinas de reacción** aprovechan tanto la velocidad del agua como la presión que le resta a la corriente en el momento de contacto.

Las más utilizadas entre las de reacción son la turbina **Francis** y la turbina **Kaplan**. Estas suelen tener cuatro elementos fundamentales: carcasa o caracol, distribuidor, rodete y tubo de aspiración .

La turbina Francis está totalmente sumergida en agua, se utiliza en centrales con altura de salto de 15 a 400 m y es apropiada para saltos y caudales medianos. Dispone de un eje vertical y su rodete está constituido por paletas alabeteadas. El agua es conducida hasta la periferia del rodete por un distribuidor y se evacua por un canal que sale a lo largo del eje. Tiene un rendimiento del





Turbina Francis

Esquema de la entrada de agua en una turbina Francis

Francis

Rodete

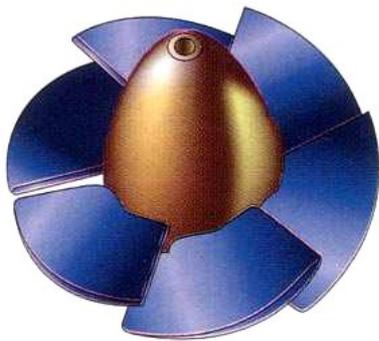
de

una

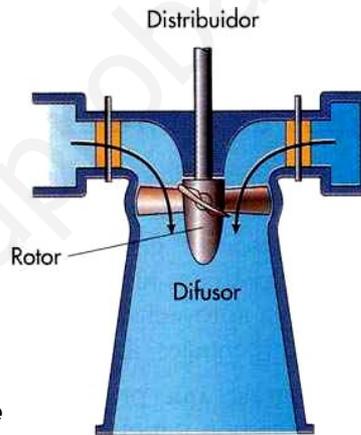
turbina

Francis

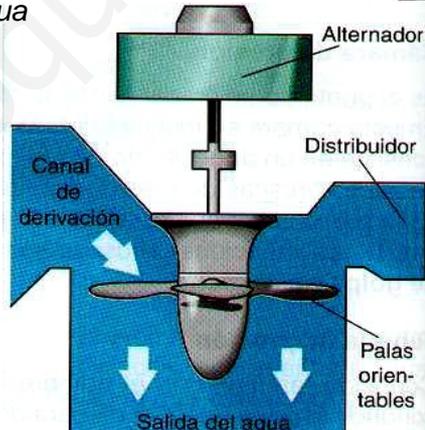
La turbina Kaplan se utiliza para saltos pequeños y grandes caudales, pueden tener el eje horizontal, vertical o inclinado, diferenciándose de la turbina Francis principalmente en el rodete. Su rodete está formado por una hélice de palas orientables, (generalmente 4 o 5) lo que permite mejorar su rendimiento y disminuir el tamaño del alternador. Tiene una eficiencia entre el 93 y el 95%.



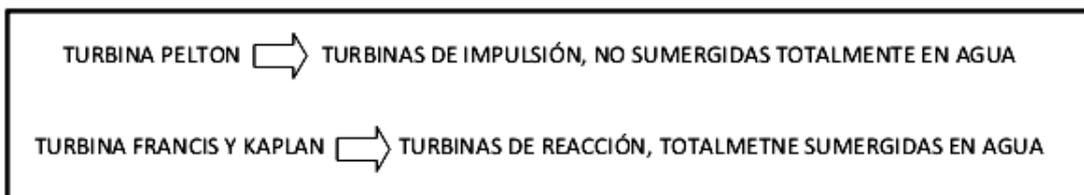
Rodete de una turbina Kaplan



Esquema de la entrada de agua



Turbina Kaplan



La tendencia en las turbinas hidráulicas modernas es utilizar caídas mayores y máquinas más grandes.

Según el tamaño de la unidad, las turbinas Kaplan se utilizan en caídas de unos 60 m, y en el caso de las turbinas Francis de hasta 610 m.

La potencia de una central hidroeléctrica depende del caudal que pueda turbinar y del salto, es decir,

de la diferencia de cotas del agua a la entrada y la salida de la central. En función de dichos parámetros (salto y caudal) se elegirá el tipo de turbina más adecuada. En los últimos años se han desarrollado turbinas con capacidades de hasta 700 MW.

Canal de desagüe: Se encarga de devolver el agua utilizada en las turbinas hasta el cauce del río. El agua sale a gran velocidad, por lo que se protege la salida y las paredes laterales con refuerzos de hormigón para evitar la erosión, que podría poner en peligro la propia presa.

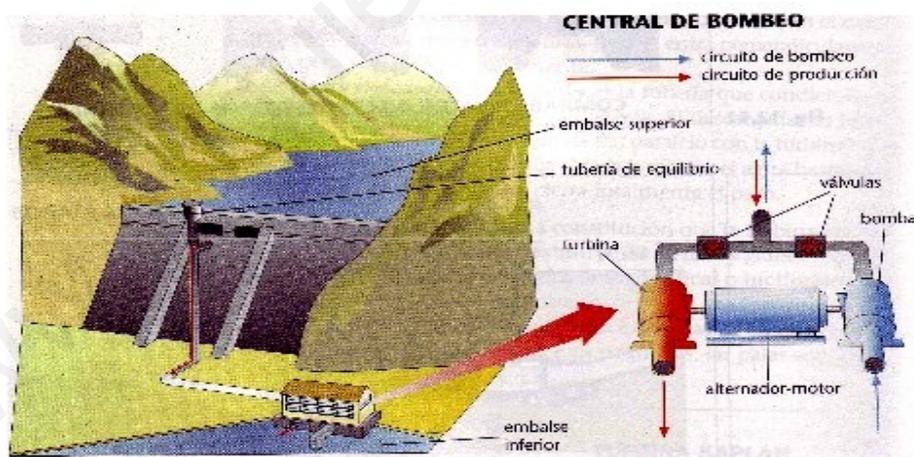
Parque de transformadores: Para evitar pérdidas de energía en el transporte a largas distancias, se hace necesario elevar la tensión a valores no inferiores a los 200 000

V. Este aumento de tensión se lleva a cabo en el parque de transformadores.

III. Principios de funcionamiento

Una presa sirve para contener el agua y formar tras de sí un embalse. El agua se libera por los desagües, que fluye por las tuberías de conexión (canal de derivación) hasta la sala de máquinas. A la entrada de la tubería, una serie de rejillas regulan el caudal de agua y actúan como filtro, impidiendo que lleguen a las turbinas elementos extraños. Al llegar a los grupos turbina-alternador el agua hace girar la turbina cuyo eje es solidario al del alternador, produciéndose en los terminales de éste una corriente eléctrica alterna de alta intensidad y tensión relativamente baja que, mediante transformadores se convierte en corriente de alta tensión e intensidad baja, lo más apropiado para su transporte. El agua se transporta por unos conductos o tuberías forzadas, controlados con válvulas para adecuar el flujo de agua por las turbinas con respecto a la demanda de electricidad. El agua sale por los canales de descarga.

Se han diseñado turbinas que actúan como bombas cuando funcionan a la inversa, invirtiendo el generador eléctrico para que funcione como un motor. Dado que no es posible almacenar la energía eléctrica de forma económica, este tipo de bombas turbina se utiliza para bombear agua hacia los embalses, aprovechando la energía eléctrica generada por las centrales nucleares y térmicas durante las horas de poco consumo. El agua embalsada se emplea de nuevo para generar energía eléctrica durante las horas de consumo elevado (centrales de bombeo).



IV. Clasificación de las centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar atendiendo a diversos criterios:

• Según la forma de **aprovechar el agua**:

a) Aprovechamiento por derivación.- Por medio de una pequeña presa se desvía el agua del río hacia un canal ligeramente inclinado que la conduce hasta un depósito. Desde aquí el agua se dirige a través de una tubería hasta la sala de máquinas. Tras mover la turbina el agua se conduce de nuevo al río por medio de un canal de descarga.

b) Aprovechamiento por acumulación.- En una zona apropiada del río se construye una presa donde el agua se acumula. A mitad de altura, se encuentra la toma de agua hacia la sala de máquinas.

• Según el **caudal** del río:

a) Centrales de regulación.- El caudal es variable y es necesario acumular el agua para generar energía regularmente.

b) Centrales fluyentes.- El caudal es tan regular que se puede usar directamente o con un embalse reducido.

• Según su **potencia**:

a) Minicentrales eléctricas.- Tienen una potencia entre 250-5000 KW. y se usan para pequeños pueblos o industrias. Si se conectan a la red general se necesitan muchas para que sean rentables.

b) Grandes centrales o centrales hidroeléctricas.- Tienen potencia superior a los 5 MW y producen energía a gran escala. Las grandes tienen una potencia instalada de hasta 14GW como la de Itaipú (Paraguay-Brasil) ó 22 5 GW en la Presa de las Tres Gargantas (China).

• Por su **funcionamiento**:

a) Central sin bombeo.- Situada en el cauce de un río y con suficiente altura para generar energía.

b) Central de bombeo.- Presenta un embalse superior y otro inferior. El agua que genera corriente pasa del embalse superior al inferior pasando por la sala de máquinas, cuando hay gran demanda de energía. Cuando la demanda de energía es baja, la energía sobrante se utiliza para bombear desde el embalse inferior al superior, y de esta forma se logra el máximo aprovechamiento del agua.

V. Emplazamiento de sistemas hidráulicos

Para evaluar el potencial extraíble, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

El caudal de agua disponible, que se establece a partir de datos pluviométricos medios de largos periodos de tiempo.

El desnivel que se puede alcanzar, impuesto por el terreno

Un gran desnivel (100 – 150 m) obligará a utilizar largas canalizaciones, mientras que un pequeño desnivel (menor de 20 m), obligará a la construcción de un embalse para aumentarlo (necesario estudiar las conducciones y los diques).

Para conocer correctamente las características de determinado aprovechamiento, es necesario disponer de datos de, al menos, veinte años hidrológicos.

VI. Impacto ambiental

Ventajas	Inconvenientes
El proceso de transformación de la energía hidráulica en eléctrica es «limpio», es decir, no produce residuos ni da lugar a la emisión de gases o partículas sólidas que pudieran contaminar la atmósfera.	Los embalses de agua anegan extensas zonas de terreno, por lo general muy fértiles y en ocasiones de gran valor ecológico, en los valles de los ríos. Incluso, en algunos casos, han inundado pequeños núcleos de población, cuyos habitantes han tenido que ser trasladados a otras zonas: esto significa un trastorno considerable a nivel humano.
Las presas que se construyen para embalsar el agua permiten regular el caudal del río, evitando de esta forma inundaciones en épocas de crecida y haciendo posible el riego	Las presas retienen las arenas que arrastra la corriente y que son la causa, a lo largo del tiempo, de la formación de deltas en la desembocadura de los ríos. De esta forma se altera el equilibrio, en perjuicio de los

de las tierras bajas en los períodos de escasez de lluvias.	seres vivos (animales y vegetales) existentes en la zona.
El agua embalsada puede servir para el abastecimiento a ciudades durante largos períodos de tiempo.	Al interrumpirse el curso natural del río, se producen graves alteraciones en la flora y en la fauna fluvial.
Los embalses suelen ser utilizados como zonas de recreo y esparcimiento, donde se pueden practicar una gran cantidad de deportes acuáticos: pesca, remo, vela, etc.	Si aguas arriba del río existen vertidos industriales o de alcantarillado, se pueden producir acumulaciones de materia orgánica en el embalse, lo que repercutirá negativamente en la salubridad de sus aguas.
	Una posible rotura de la presa de un embalse puede dar lugar a una verdadera catástrofe (ejemplo: presa de Tous, en la provincia de Valencia).
	Gran dependencia de la energía hidráulica respecto a las precipitaciones, pues en épocas de sequía es necesario reservar parte del agua embalsada para otros usos no energéticos.

VII. Un ejemplo de central hidráulica: Las Trs Gargantas.



Un ejemplo de megacentral hidráulica es la que han construido los chinos en una de las cuencas del río Yangtzé desplazando a los habitantes de ciudades enteras. En concreto, esta monumental obra dejó bajo el nivel de las aguas a 19 ciudades y 322 pueblos, afectando a casi 2 millones de personas y sumergiendo unos 630 km² de superficie de territorio chino. Cuenta con 32 turbinas de 700MW cada una, 14 instaladas en el lado norte de la presa, 12 en el lado sur de la presa y seis más subterráneas totalizando una potencia de 24.000 MW.

La presa mide 2.309 metros de longitud y 185 metros de altura e incluye una esclusa capaz de manipular barcos de hasta 3.000 toneladas. Desde tiempos inmemoriales, el río sufría inundaciones masivas de sus orillas cada diez años, y sólo en el siglo XX, según las autoridades chinas, murieron unas 300.000 personas por culpa de este fenómeno. La presa está diseñada para evitar estos sucesos y mejorar el control del cauce del río, así como para proteger a los más de 15 millones de personas que viven en sus márgenes.

La presa de las Tres Gargantas, en la actualidad, ostenta el título de "la mayor represa de generación de energía del mundo"

La inundación de las tierras provocó, también, grandes pérdidas de reliquias ubicadas en las cercanías del río. Elementos de la era Paleolítica, sitios del Neolítico, entierros ancestrales, tumbas aristocráticas y obras de las dinastías Ming y Qing, quedarán por debajo de la línea de almacenamiento. Por ello, a partir de 1995 se inició una carrera contrarreloj a fin de rescatar la mayor cantidad posible de estos elementos.

Las consecuencias medioambientales en el lugar han sido devastadoras. Un ejemplo es la reciente extinción del baiji o delfín chino, una especie endémica del río Yangtzé, que llevaba en peligro crítico de extinción desde hacía décadas. La construcción de esta presa, ha llevado al límite las condiciones que esta especie de delfín podía soportar y finalmente, en 2008, tras haberse realizado exhaustivas búsquedas, el baiji fue declarado oficialmente extinto.

Algunos críticos dicen que el río llevará al embalse 53.000 millones de toneladas de desechos que podrían acumularse en la pared de la presa, tapando las entradas a las turbinas. La acumulación de sedimentos es un problema característico de los embalses, esto disminuye la capacidad de producción y además recorta la vida útil.

Algunos críticos dicen que el río llevará al embalse 53.000 millones de toneladas de desechos que podrían acumularse en la pared de la presa, tapando las entradas a las turbinas. La acumulación de sedimentos es un problema característico de los embalses, esto disminuye la capacidad de producción y además recorta la vida útil.

VII. Anexo. Potencia de una central hidroeléctrica

La potencia de una central hidroeléctrica depende, fundamentalmente, de dos parámetros: la altura del salto del agua y el caudal que incide sobre las turbinas.

$$P = 9,8 \cdot C \cdot h$$

$P \Rightarrow$ Potencia de la central en kW $C \Rightarrow$ caudal del agua en m^3/s

$h \Rightarrow$ altura en m (desde la superficie del embalse hasta el punto donde está la turbina)

No toda la potencia es aprovechable, pues existen pérdidas debidas al transporte del agua y al rendimiento de turbinas y alternadores, por lo que para corregir el error se introduce un coeficiente de rendimiento estimado, η

$$P_{\text{útil}} = \eta \cdot P$$

La energía generada:

$$E = P \cdot t = 9,8 C \cdot h \cdot t$$

$E = P \cdot t = 9,8 C \cdot h \cdot t$
⇒ Energía en kWh t ⇒
tiempo en horas

www.yoquieroaprobar.es

CUESTIONES

1. ¿En qué momento se comenzó a utilizar la energía hidráulica para obtener energía eléctrica?
2. Indica las transformaciones energéticas que se producen para transformar la energía hidráulica en eléctrica.
3. Aspectos a tener en cuenta para instalar una central hidroeléctrica.
4. Haz un esquema en el que se indiquen las partes principales de una central hidráulica.
5. Diferencias entre los tres tipos de turbinas estudiados.
6. ¿Cuál es la función del parque de transformadores?
7. ¿Qué modificaciones deben hacerse a la corriente eléctrica generada para su posterior transporte?
8. ¿En qué casos es viable la construcción de una central de agua de derivación?
9. ¿Qué ventajas presenta una central de bombeo frente a una de aguaembalsada?
10. Busca información sobre algún accidente producido por la rotura de una presa.

PROBLEMAS

11. Calcula en kW la potencia que genera una central hidroeléctrica a partir de un caudal medio de $10\text{m}^3/\text{s}$ y una altura neta de salto de 30m si el coeficiente de rendimiento estimado es de del 30%. (Sol: 882 kW)
12. Calcula la potencia en kW y en CV que podría obtenerse en una central hidroeléctrica con un salto de 25 m a partir de un caudal de $15\text{ m}^3/\text{s}$, suponiendo un rendimiento del 35%. (Sol: 1286,25 kW; 1747,62 CV) **(1CV = 736w)**
13. Una central hidroeléctrica tiene $2,5\text{ Hm}^3$ de agua embalsada a una altura media de 120 m con relación a la turbina. ¿Cuál es la energía potencial en Kwh? (Sol: $E = 8,17 \cdot 10^5\text{ kWh}$) ($1\text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6\text{ J}$).
 - a) Si el rendimiento de las instalaciones es del 65%. ¿Qué energía producirá en una hora si el agua cae con un caudal de $2\text{ m}^3/\text{s}$? (Sol: $E = 1528,8\text{ kWh}$)
 - b) ¿Qué potencia tiene la central? (Sol: $P = 1528,8\text{ kW}$)
14. Calcula en kW y en CV la potencia que genera una central hidroeléctrica a partir de un caudal medio de $25\text{m}^3/\text{s}$ y una altura neta de salto de 40m si el coeficiente de rendimiento estimado es de del 30%. (1CV = 736w)
15. Una central hidroeléctrica tiene $1,8\text{ Hm}^3$ de agua embalsada a una altura media de 100 m con relación a la turbina. ¿Cuál es la energía potencial en Kwh? ($1\text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6\text{ J}$). (Sol: $E_p = 4,9 \cdot 10^5\text{ Kwh}$)
16. Si el rendimiento de las instalaciones del problema anterior es del 60%.

¿Qué energía producirá en una hora si el agua cae con un caudal de $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$?
¿Qué potencia genera la central? (Sol: $E=1470\text{Kwh}$)

www.yoquieroaprobar.es