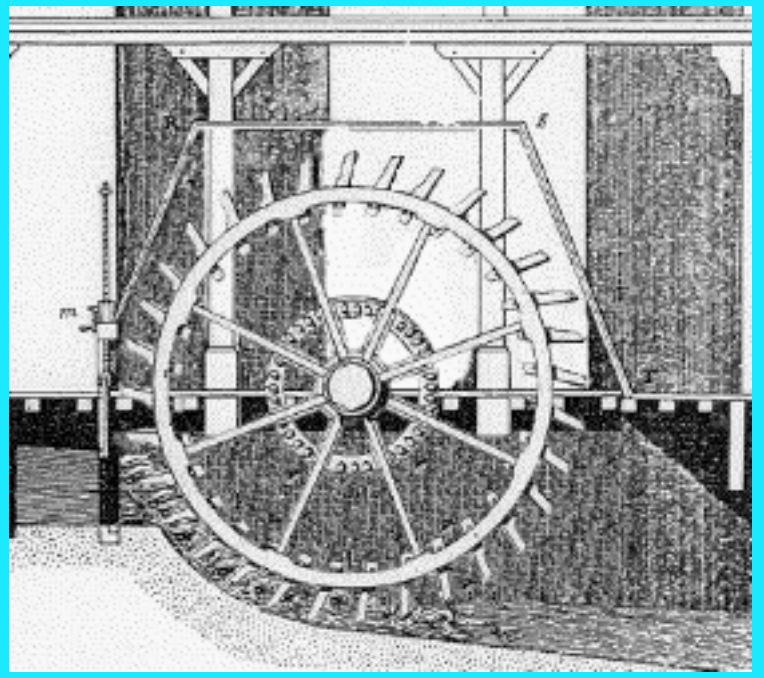
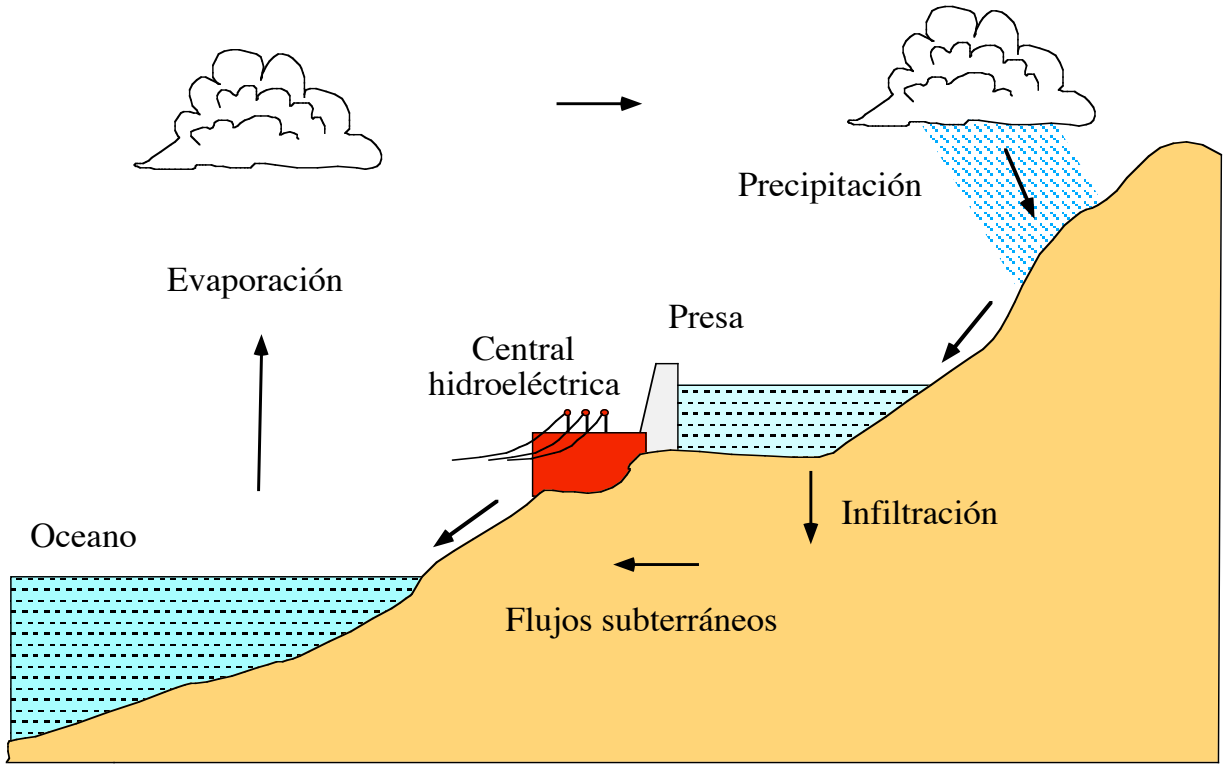
Física y Tecnología Energética



5 - Energía Hidráulica

El ciclo del agua

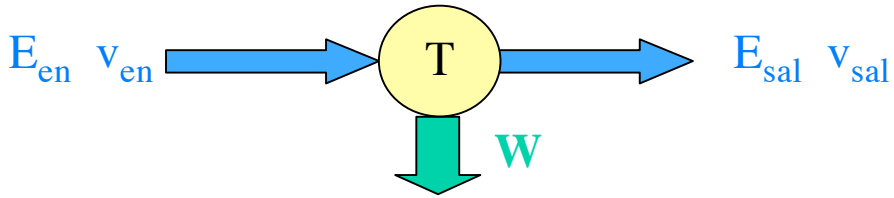
- La energía solar renueva más o menos continuamente los depósitos de agua con energía potencial gravitatoria.



- La evaporación del agua consume mucha más energía, que la que se acumula en los pantanos.

Energía Hidráulica

- Energía del agua por unidad de volumen $P+\rho gh+\frac{1}{2}\rho v^2$ contribuyen la presión, la gravitatoria y la cinética
- Las diversos términos de energía del agua se pueden convertir entre sí, y se pueden convertir en trabajo.



Energía cinética entrante. $dE_{en}=\frac{dm}{2}v_{en}^2$

Energía cinética saliente. $dE_{sal}=\frac{dm}{2}v_{sal}^2$

Por conservación de la energía $dE_{en}=dE_{sal}+dW$

La eficiencia

$$\eta=\frac{dW}{dE_{en}}=1-\frac{dE_{sal}}{dE_{en}}=1-\left(\frac{v_{sal}}{v_{en}}\right)^2<100\%$$

- La eficiencia necesariamente es inferior al 100%. El agua tiene que salir.

Aprovechamiento hidroeléctrico

- La energía del agua se usa desde hace 2 000 años
- Actualmente se usa básicamente para generar electricidad

En grandes centrales

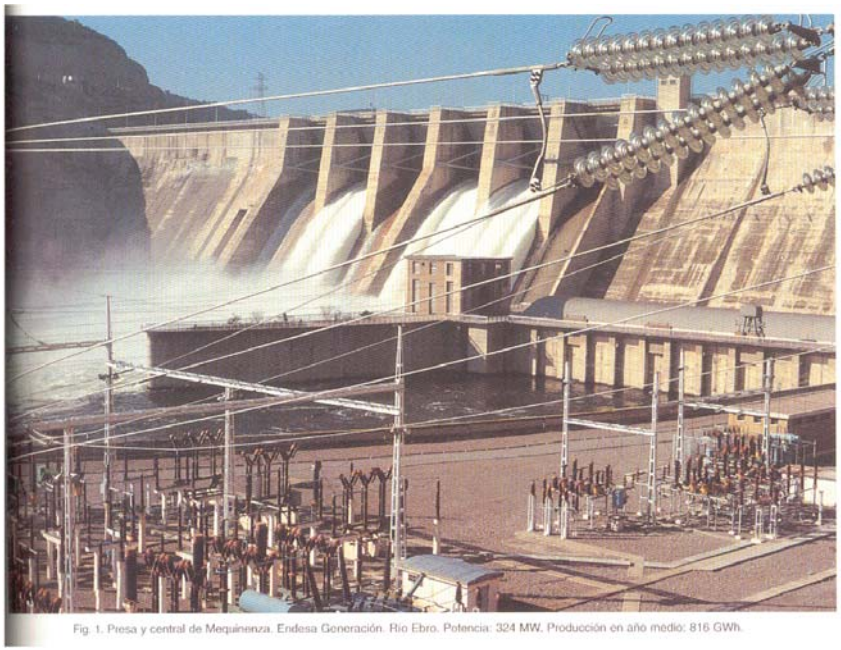
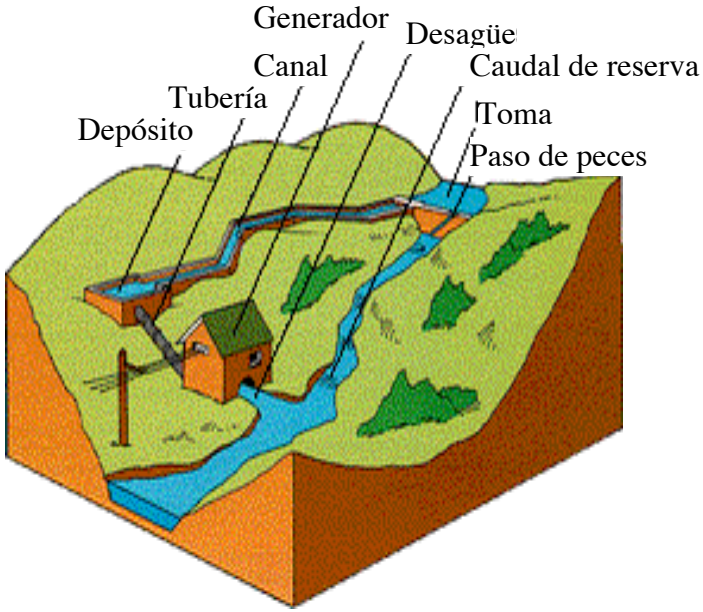


Fig. 1. Presa y central de Mequinenza. Endesa Generación. Río Ebro. Potencia: 324 MW. Producción en año medio: 816 GWh.

O en instalaciones minihidráulicas

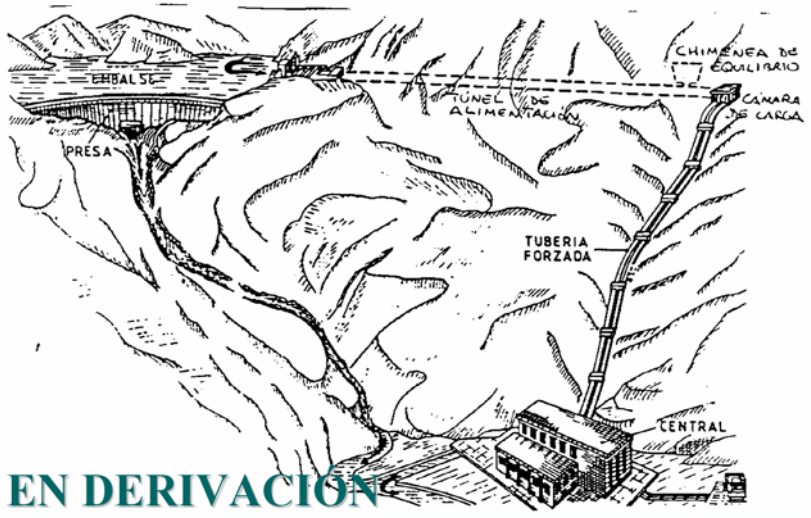


Centrales Hidroeléctricas

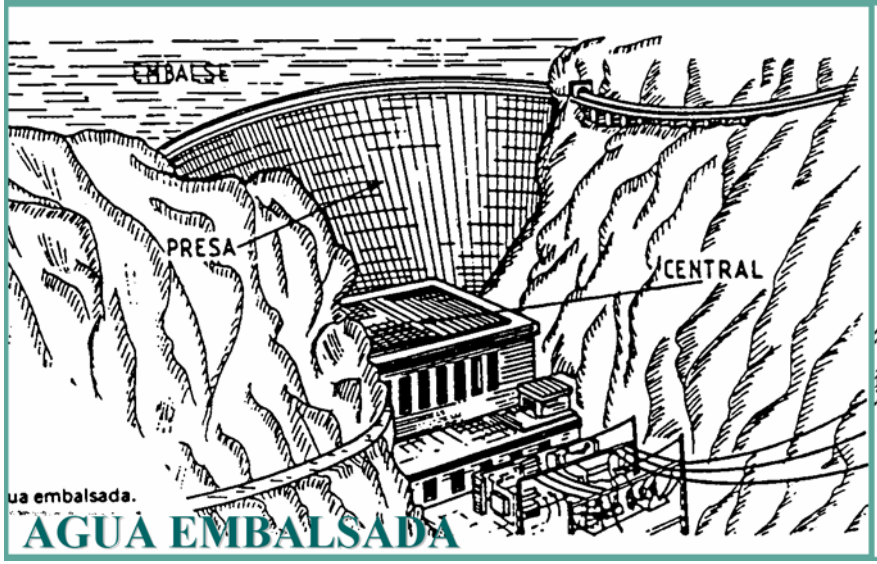
TIPOLOGÍA DEL APROVECHAMIENTO

CLASIFICACIÓN GENERAL

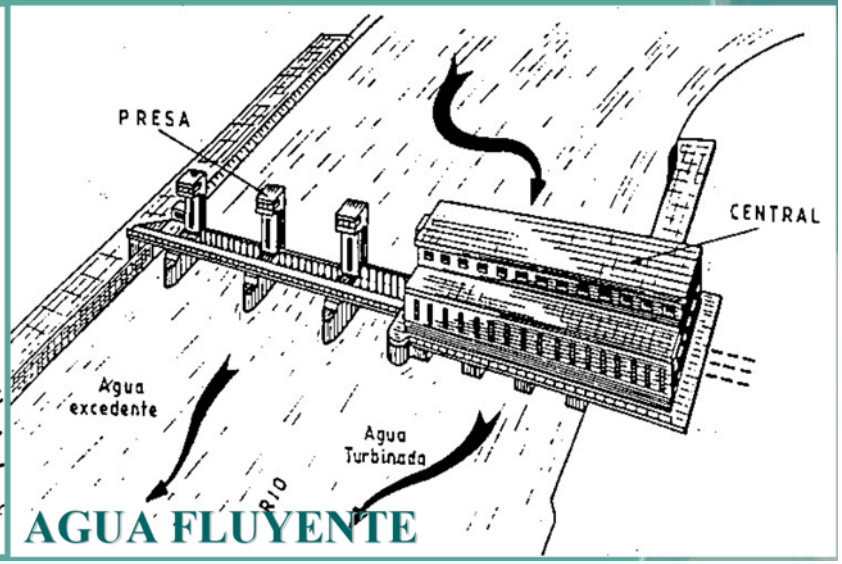
1. Central de AGUA FLUYENTE
2. Central de DERIVACIÓN
3. Central de AGUA EMBALSADA
   -Acumulación-



EN DERIVACIÓN



AGUA EMBALSADA

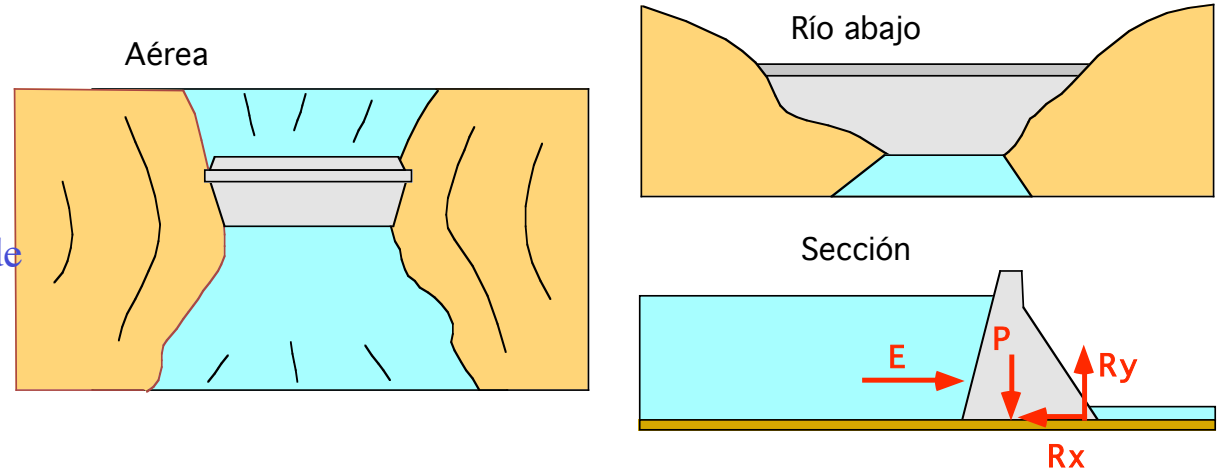


AGUA FLUYENTE

Tipos de Presa

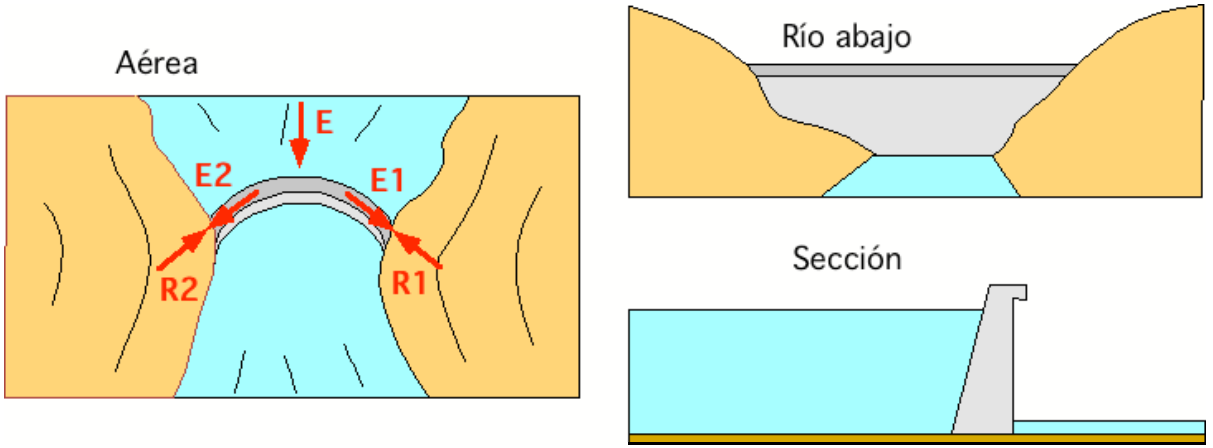
•Presa de gravedad

El empuje del agua se resiste gracias al peso de la presa



•Presa de bóveda

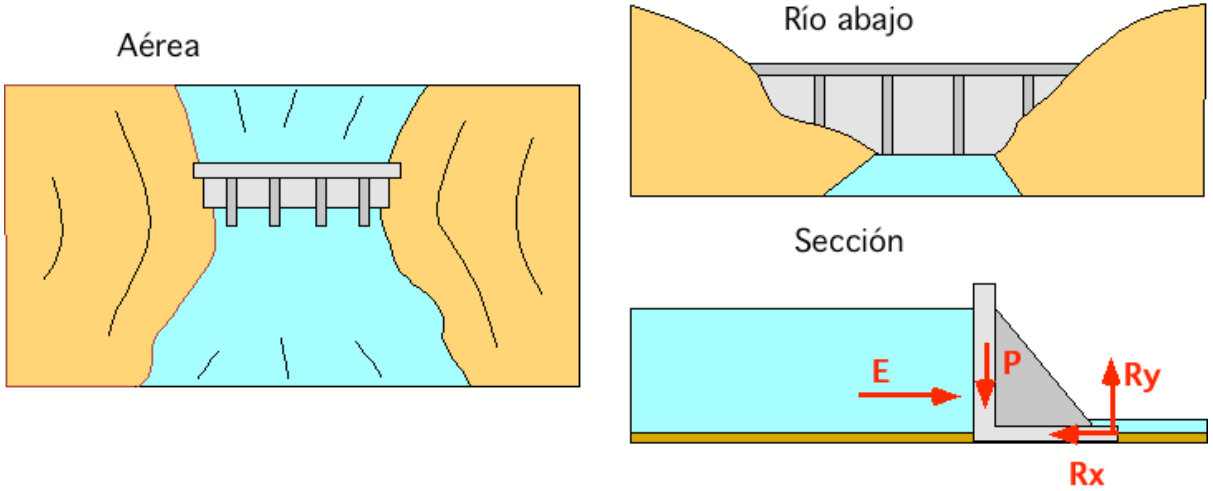
El empuje del agua se transmite a las paredes rocosas del valle



Otros Tipos de Presa

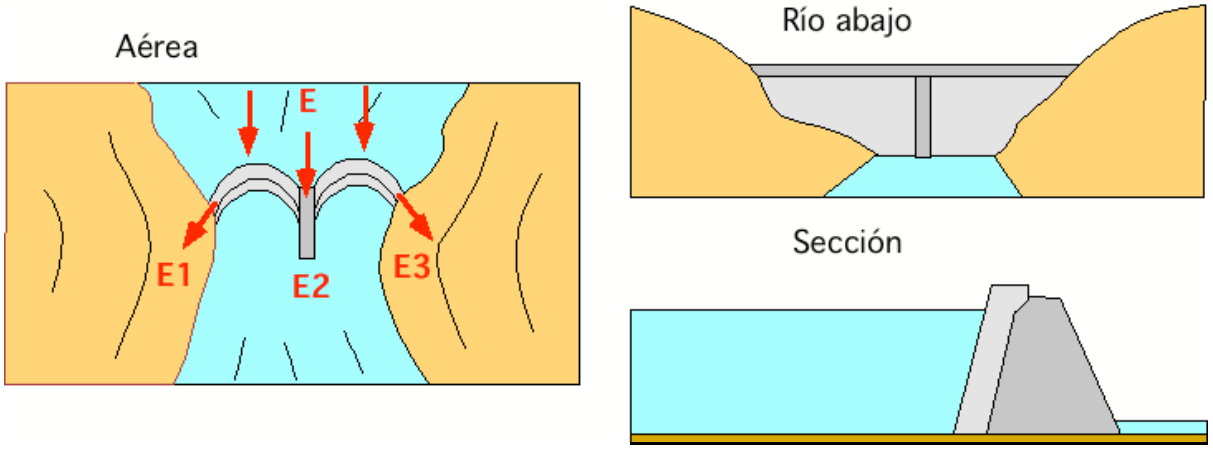
•Presa de contrafuertes

El empuje del agua se resiste con los contrafuertes



•Presa multibóveda

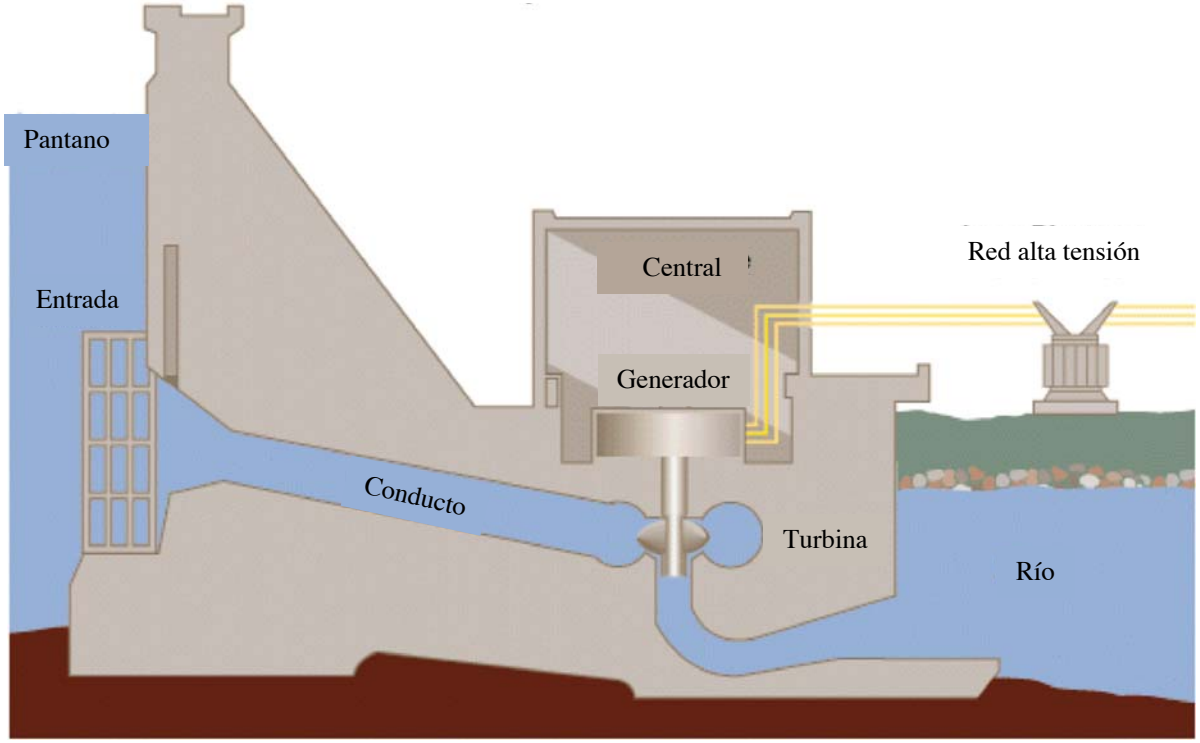
Combinación de bóveda y contrafuertes



Presas de bóveda y de gravedad

© Brooks-Jeffrey Marketing Inc. Reuse prohibited without permission

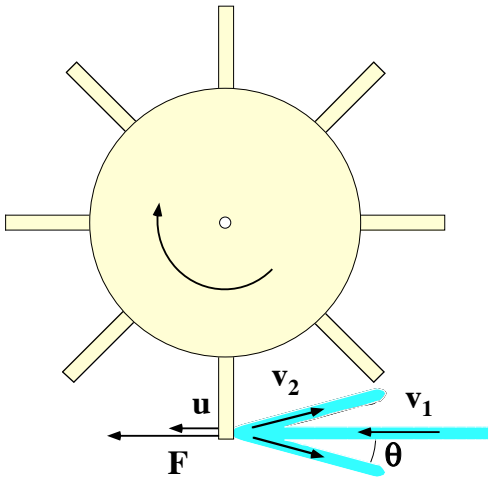
Central hidroeléctrica



Central

Turbina de impulso

- Impacto de un chorro externo sobre la turbina



La fuerza equivale al cambio en la cantidad de movimiento, en el sistema de referencia de la rueda

$$F = \frac{dm}{dt}(v + v\cos\theta) = \frac{dm}{dt}(v_1 - u)(1+\cos\theta)$$

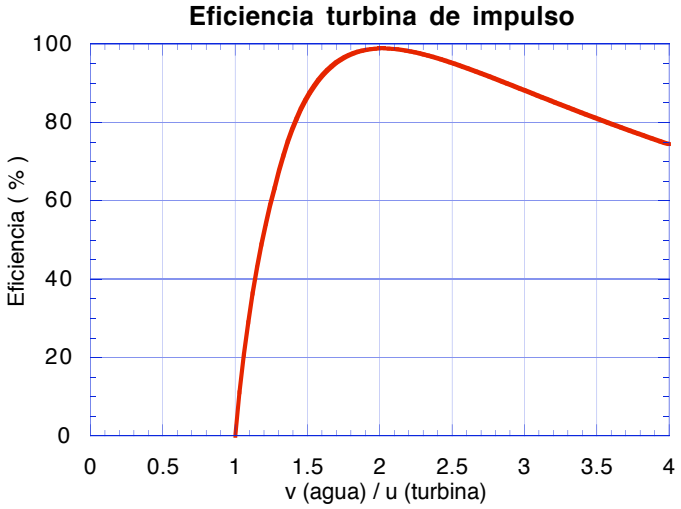
La potencia será $$P_{ot} = \frac{dW}{dt} = \vec{F}\vec{u} = \frac{dm}{dt}(v_1 - u)u(1+\cos\theta)$$

La energía que entra es $$dE_{en} = \frac{dm}{2}v_1^2$$

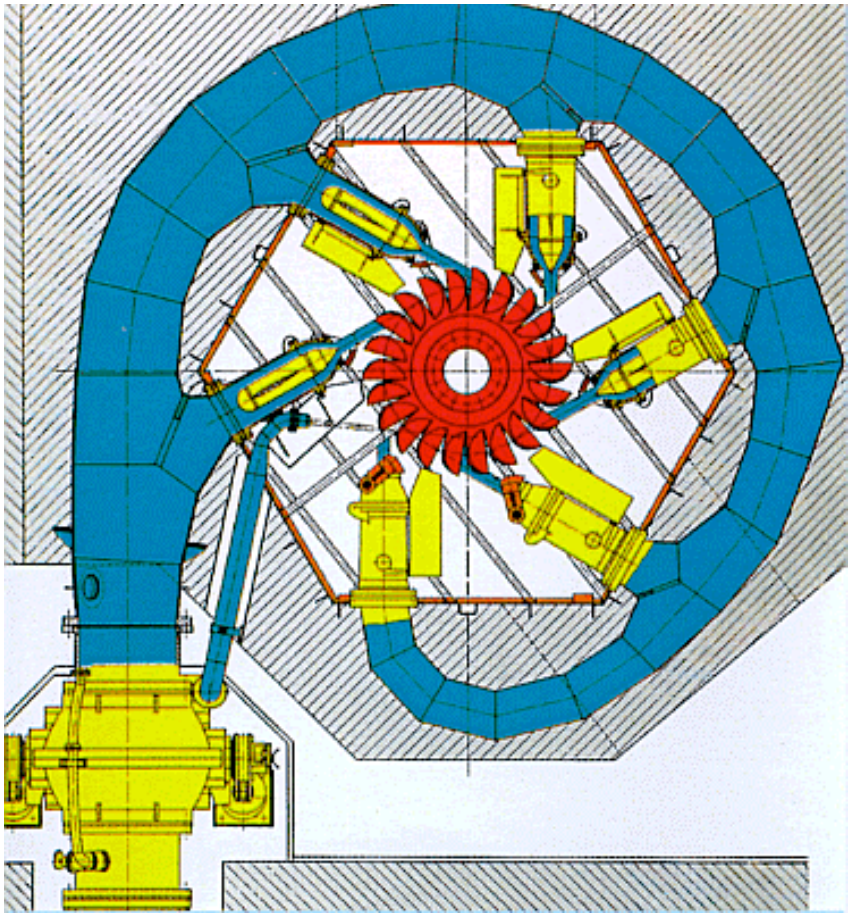
La eficiencia $$\eta = \frac{dW}{dE_{en}} = 2\left(1 - \frac{u}{v_1}\right)\frac{u}{v_1}(1+\cos\theta)$$

Es máxima cuando

$$v_1 = 2u \qquad \eta_{max} = \frac{1+\cos\theta}{2}$$

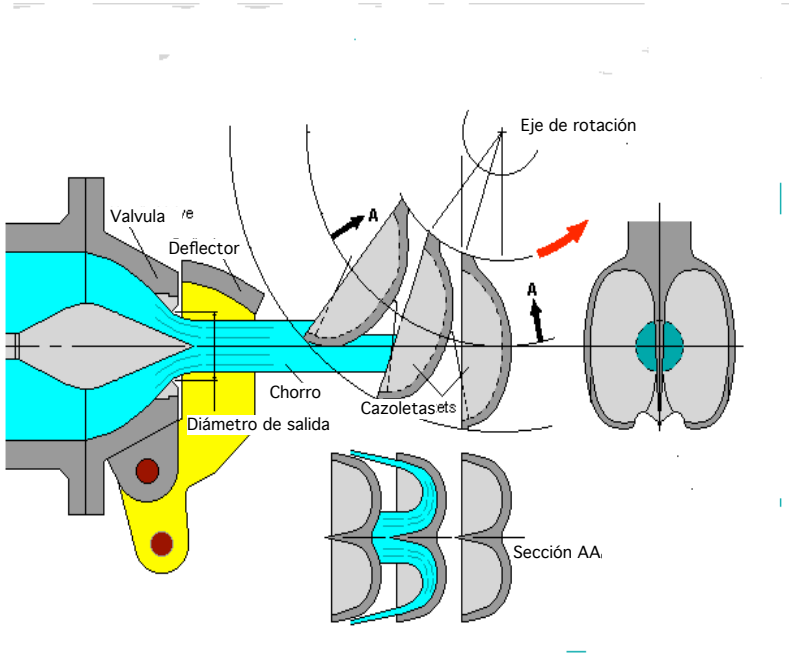


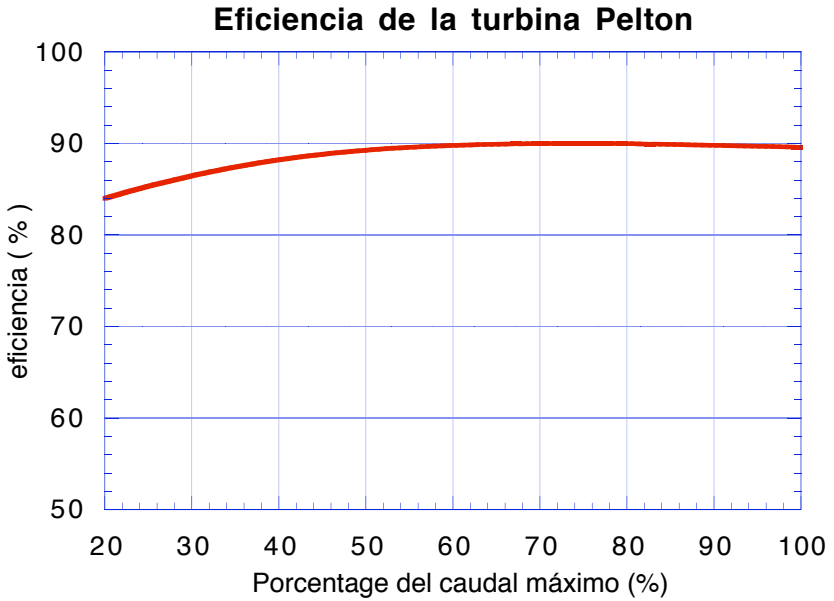
Turbina Pelton de 6 chorros



Turbina Pelton

Turbina Pelton





Para un determinado caudal se regula la velocidad con la válvula

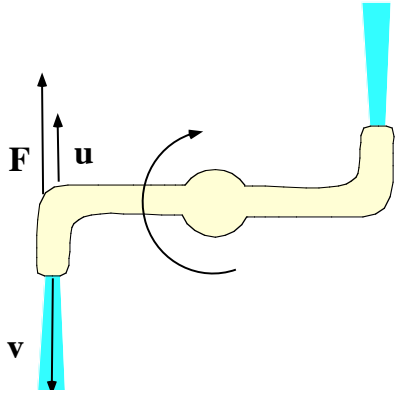
Turbina de reacción

•El flujo de agua cambia en el interior de la turbina.

La presión se convierte en energía cinética

La fuerza será $$F = \frac{dm}{dt} v$$

La potencia $$P_{ot} = \frac{dW}{dt} = \frac{dm}{dt} vu$$



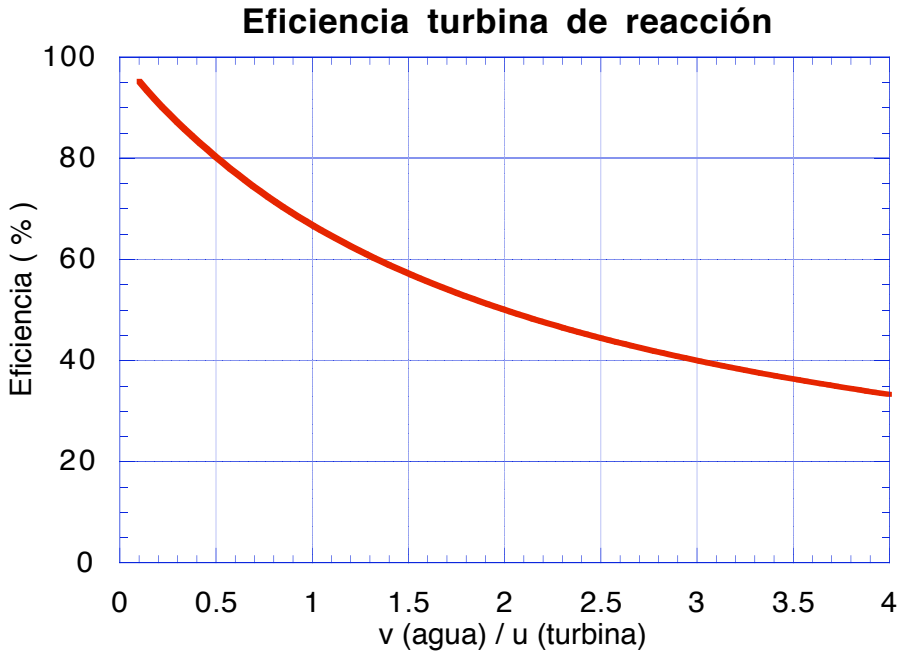
Por conservación de la energía

$$dE_{en} = dW + \frac{dm}{2} v^2$$

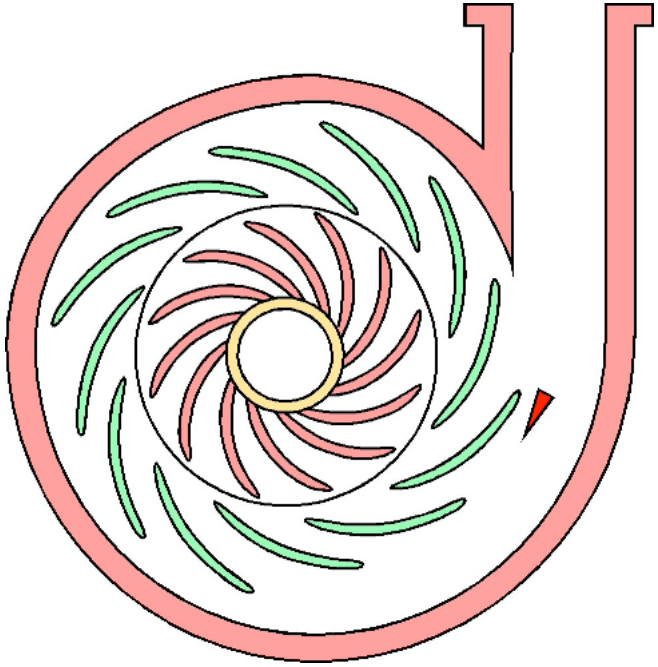
La eficiencia es

$$\eta = \frac{dW}{dE_{en}} = \frac{uv}{uv + v^2/2} = \frac{2u}{2u + v}$$

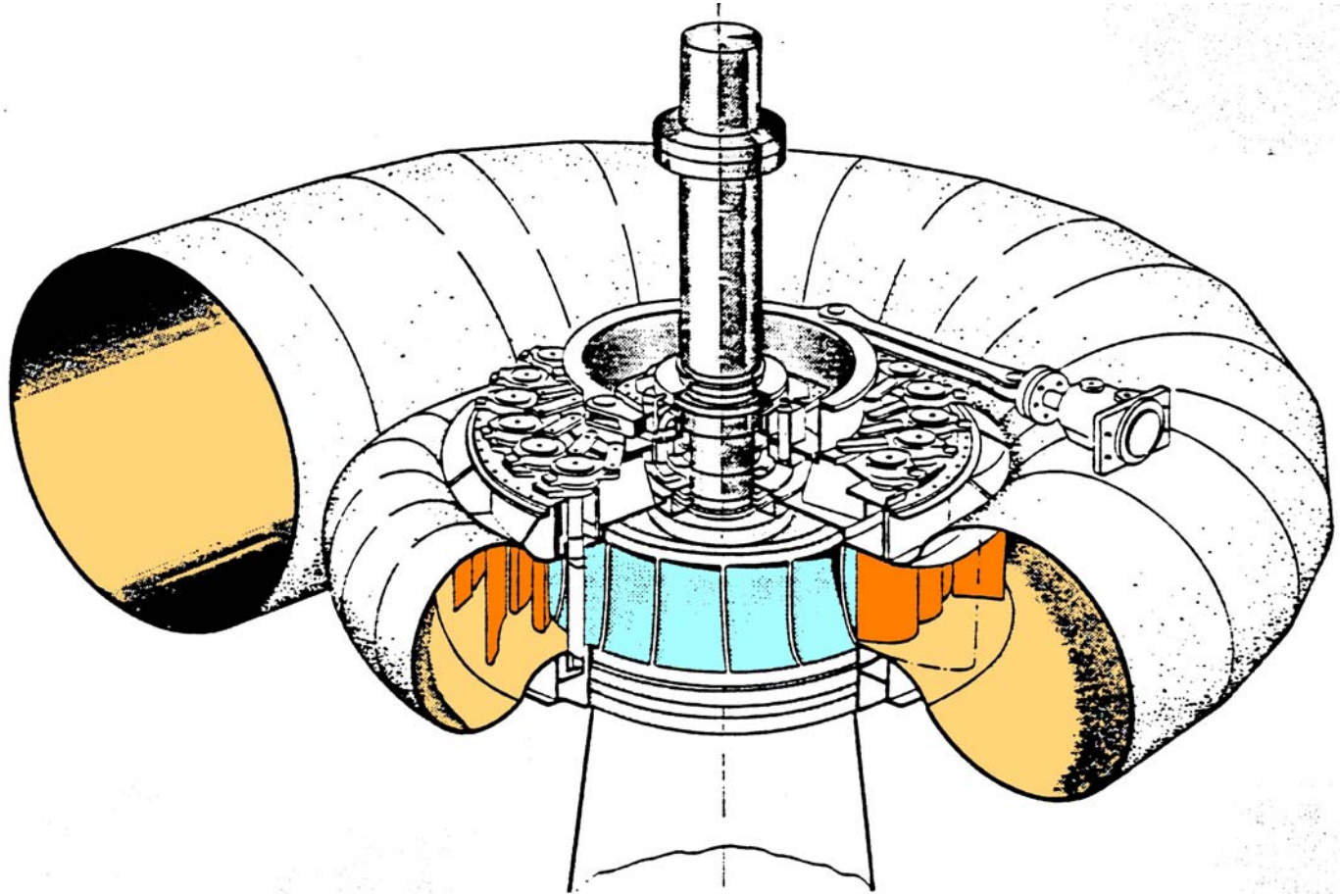
La eficiencia aumenta al disminuir la velocidad tangencial de salida del agua



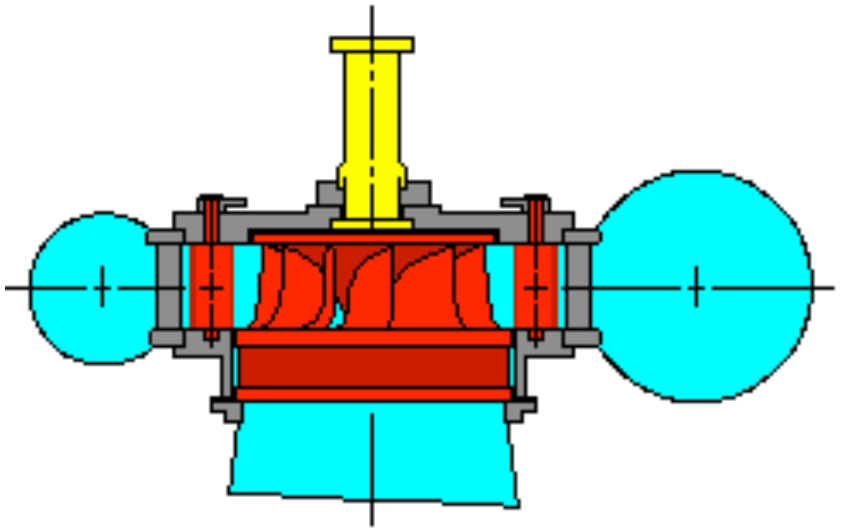
Turbina Francis

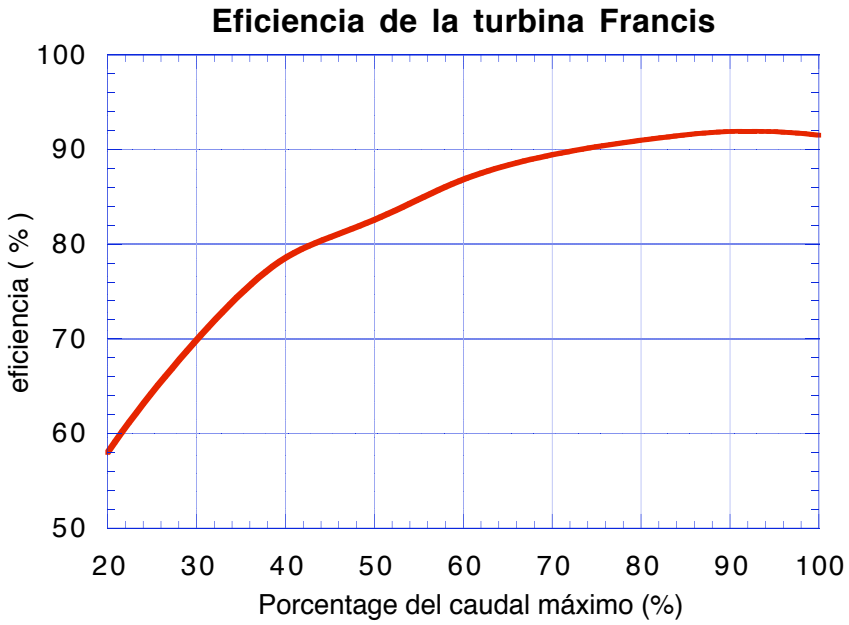


Turbina Francis



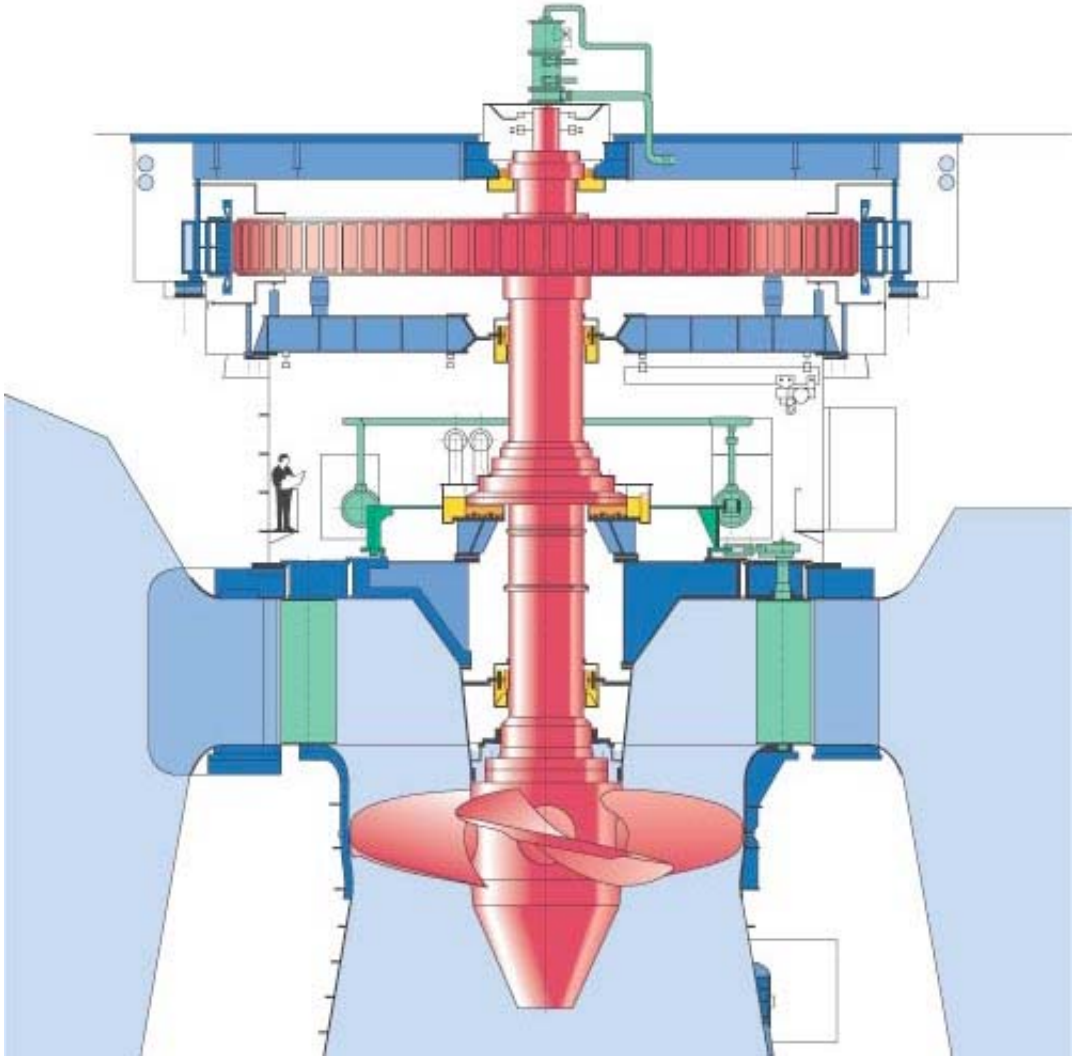
Turbina Francis



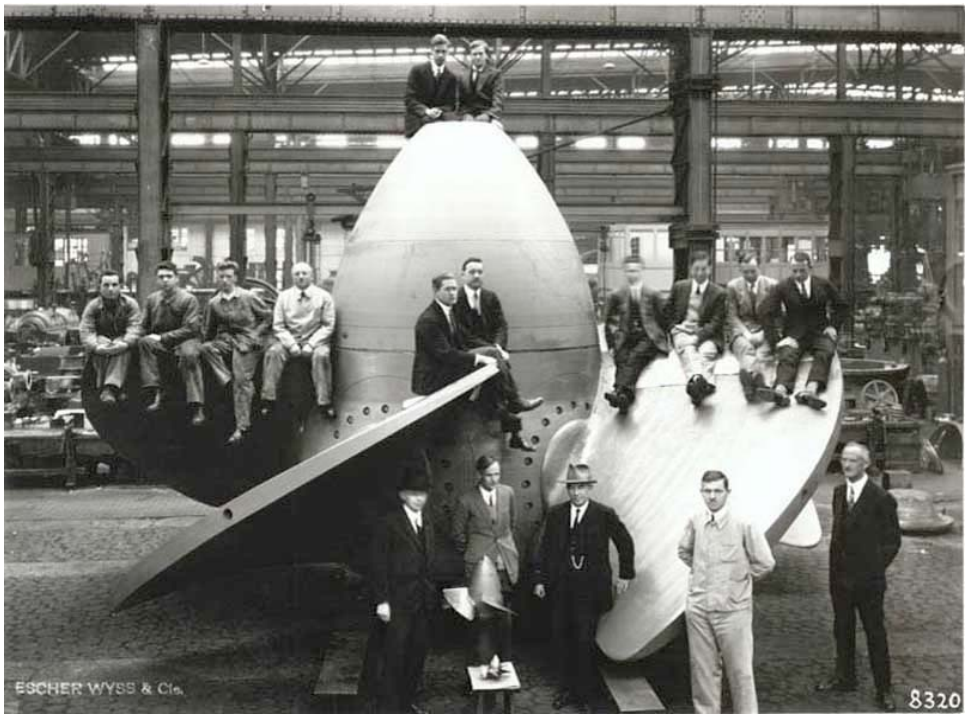


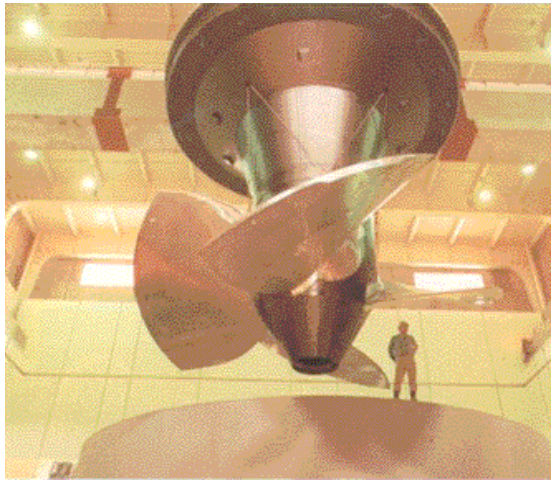
Es más complicada de regular para adaptarse al caudal

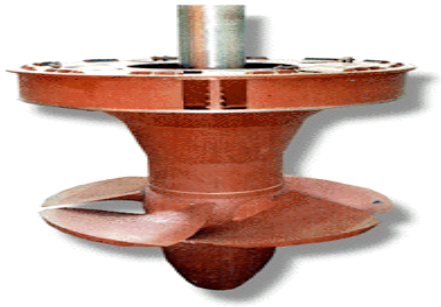
Turbina Kaplan



Turbina Kaplan

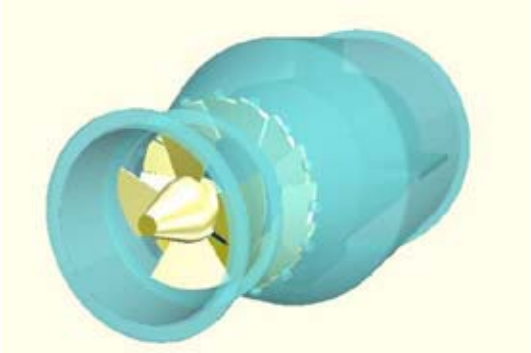


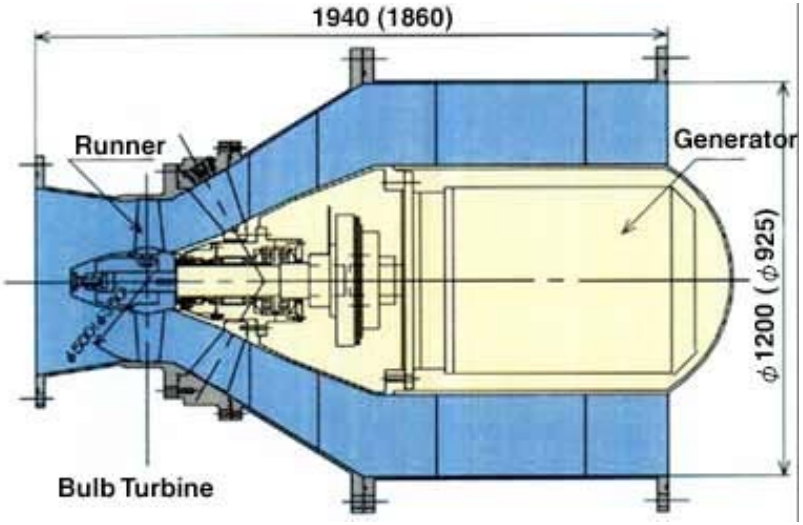


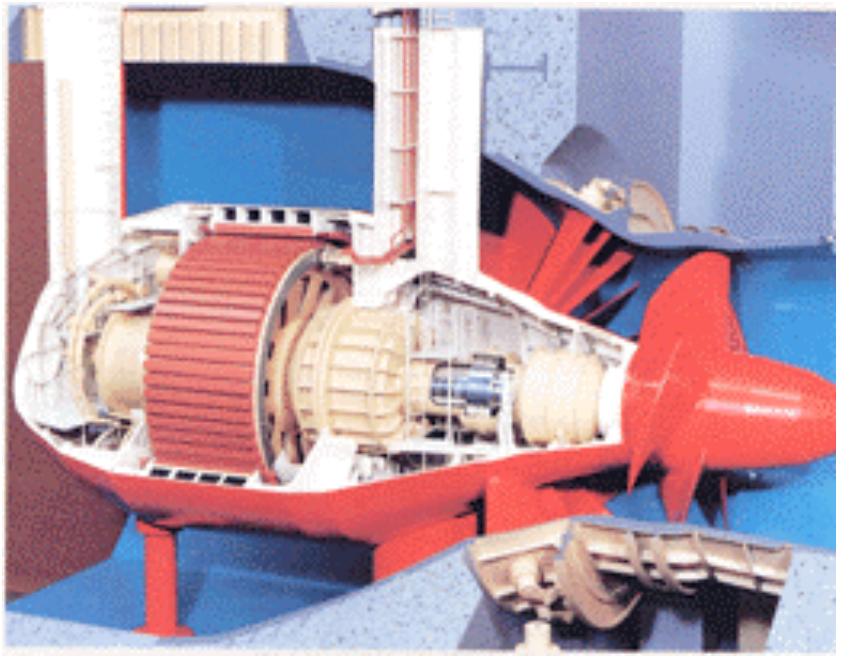


Turbina bulbo

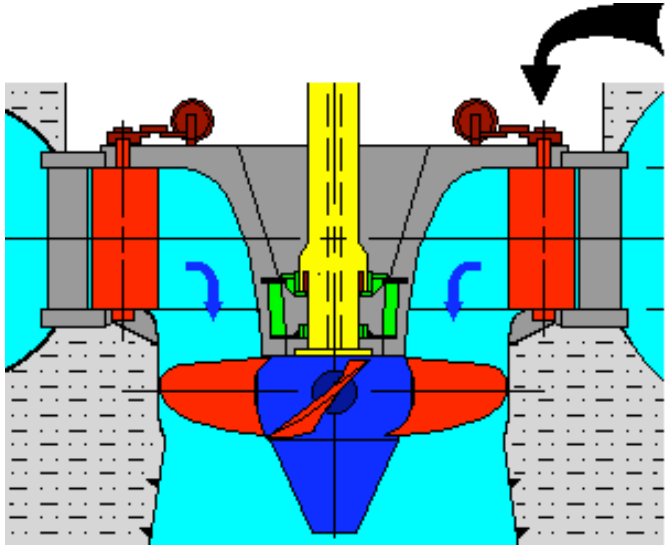
Módulo compacto Kaplan + Alternador

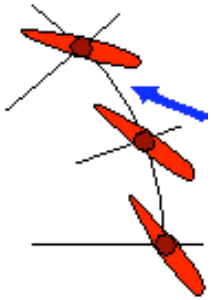


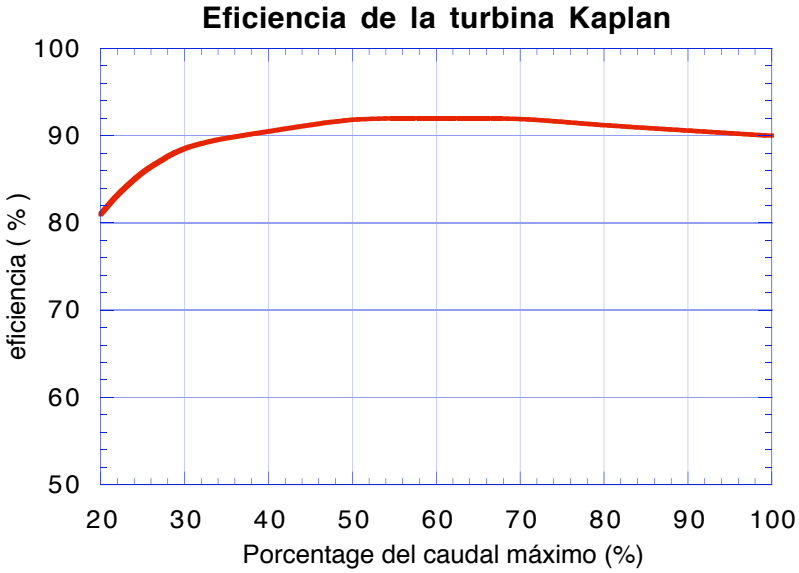




Turbina Kaplan



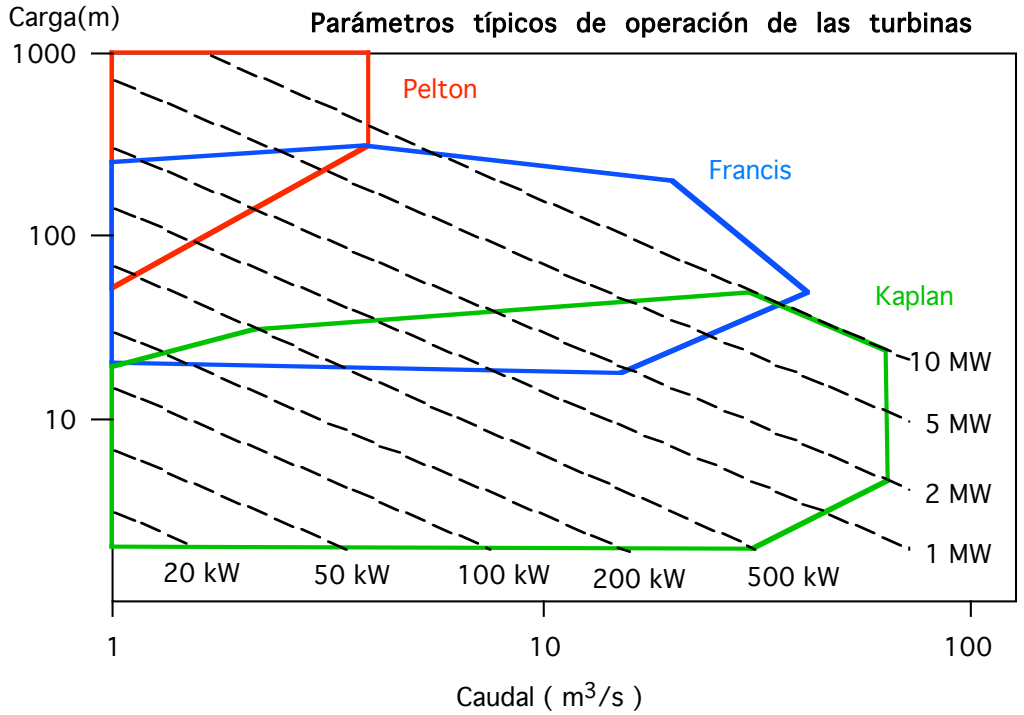




Se regula para adaptarse al caudal girando las aletas

Turbinas hidráulicas

- Para cada régimen de caudal y diferencias de altura del agua o carga, existen turbinas con una eficiencia del 90%.



- La máxima potencia obtenible en un salto de agua es $P = Q\rho gh$
- Teniendo en cuenta las eficiencias de turbinas y alternadores, y la pérdida de carga por fricción, viscosidades y turbulencias, queda la expresión aproximada:

$$P(kW) = 7{,}5 \bullet Q(m3/s) \bullet h(m)$$

Generación Hidroeléctrica en España

•Constituye el 15-16% del total de la Energía Eléctrica

•Producción y Potencia Instalada

2006	Pot. Instal. GW.	Prod. GWh	Previsión 2010 Potencia	Producción
Centrales < 10 MW	1,8	5 368	2,2	6 912
Centrales 10-50 MW	2,9	5 876	3,1	6 303
Centrales > 10 MW	13,5	25 013	13,5	24 826

•El plan de fomento de energías renovables prevee aumentar el número de pequeñas instalaciones

•Principales centrales existentes

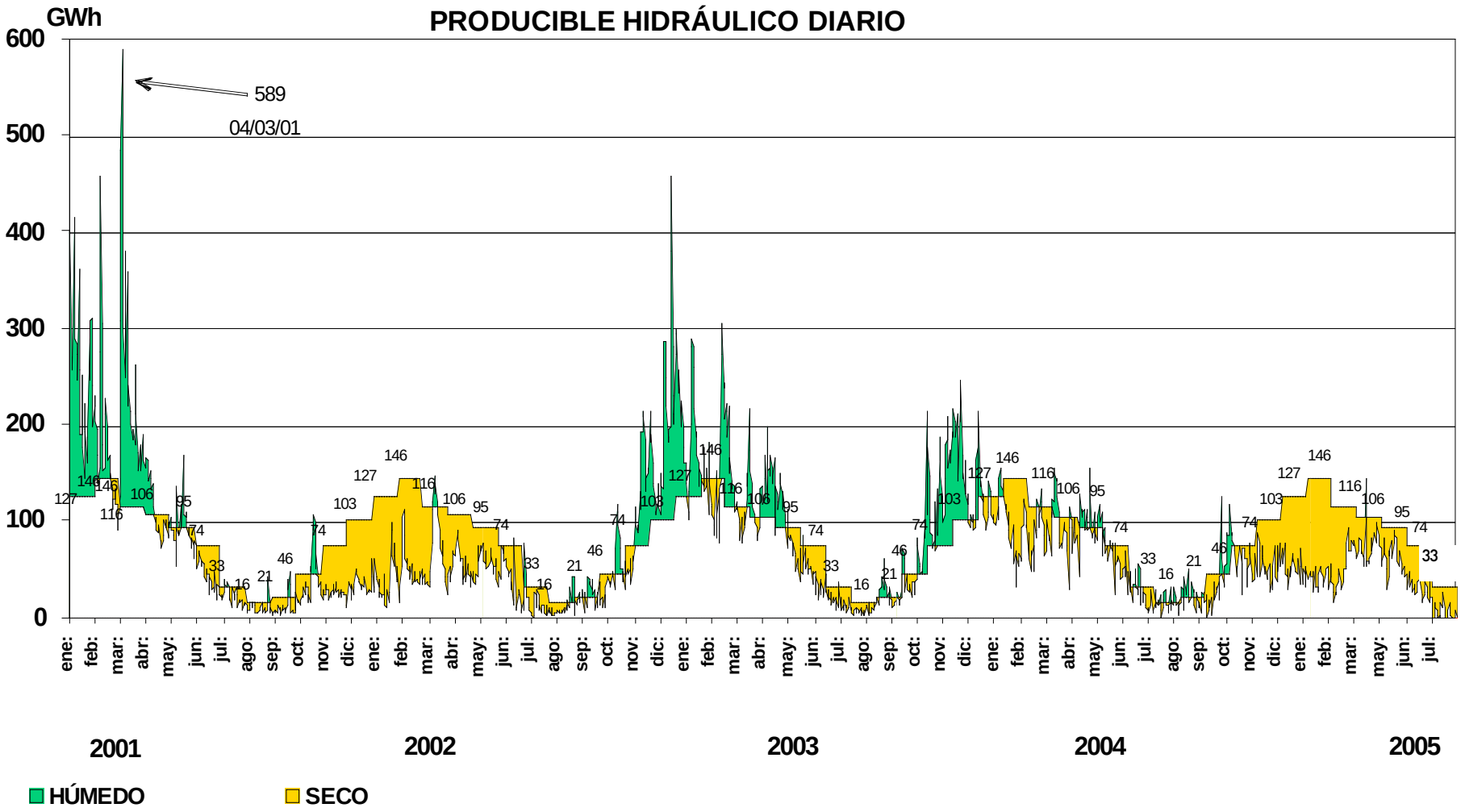
Aldeadávila	1139 MW	Duero	Salamanca	115 Hm^3 (bombeo)
Alcántara	915 MW	Tajo	Cáceres	3137 Hm^3
Cortes-Muela	908 MW	Júcar	Valencia	116 Hm^3 (bombeo)
Villarino	810 MW	Tormes	Salamanca	2649 Hm^3 (bombeo)

Generación Hidroeléctrica en España

POTENCIAL HIDROELECTRICO EN ESPAÑA (GWh/año)

CUENCA	POTENCIAL ACTUALMENTE DESARROLLADO	POTENCIAL DE FUTURA UTILIZACION			TOTAL POTENCIAL TECNICAMENTE DESARROLLABLE	POTENCIAL FLUVIAL BRUTO
		APROVECHAMIENTOS MEDIANOS Y GRANDES	APROVECHAMIENTOS PEQUEÑOS	TOTAL		
NORTE	10.600	9.300	2.700	12.000	22.600	34.280
DUERO	6.700	4.200	600	4.800	11.500	29.400
TAJO	3.900	4.200	600	4.800	8.700	16.540
GUADIANA	300	300	---	300	600	3.830
GUADALQUIVIR	400	500	300	800	1.200	10.410
SUR DE ESPAÑA	200	100	300	400	600	2.740
SEGURA	100	600	100	700	800	2.090
JUCAR	1.200	1.000	400	1.400	2.600	7.490
EBRO	7.600	7.000	1.400	8.400	16.000	40.060
PIRINEO ORIENTAL	600	100	300	400	1.000	3.520
TOTAL CUENCAS	31.600	27.300	6.700	34.000	65.600	150.360

Hidroeléctrica en España (Variabilidad diaria)



Producción hidroeléctrica en el mundo

	Instalada(GW)	Producida (GWh)
Norte América	176	697 900
Centro y Sudamérica	106	523 100
Europa Occidental	143	519 600
Europa Oriental	80	245 800
Oriente Medio	5	18 900
Africa	21	63 100
Lejano Oriente y Oceanía	147	515 700

Producción actual	2,5 PWh
Podría llegar a	6-9 PWh

Mayores instalaciones del mundo

Itaipú en Brasil-Paraguay	10 500 MW
Grand Couleee en Columbia (USA)	9 780 MW

Energía hidroeléctrica. Ventajas

- Es la más barata. Pocos costes de operación y mantenimiento
- La eficiencia de conversión en energía eléctrica es elevada. 90%
- Es posible regularla para responder a la demanda en segundos.
- Es esencial para dar las puntas del consumo diario
- El agua puede ser usada posteriormente para otros fines
- No contamina el aire ni desprende calor
- Es renovable. No consume recursos naturales, aunque su capacidad de producción es limitada.

Energía hidroeléctrica. Inconvenientes .

- El suministro es variable, no está asegurado en años de sequía
- Inunda valles, quitándole terreno a la agricultura.
- Puede obligar al traslado de población
- Cambia el ecosistema de bosque y pradera a lago. Otras especies animales.
- Interrumpe el paso a los peces migratorios
- Acumula fangos y limos en el fondo. Cuando se descomponen se contamina el agua
- Infecciones y plagas en las aguas estancadas
- Puede inducir pequeños terremotos al llenarse por primera vez.
- Pueden derruirse causando grandes riadas con enormes daños y numerosas muertes
  La probabilidad es de 10^{-4} por presa y año, en países desarrollados.
- Gran parte de las presas tendrán una vida útil entre 100 y 200 años, quedando colmatadas por los materiales arrastrados por el río.