

Fuentes de Energía

Capítulo 11: Energía hidroeléctrica y marina.

Autores:

- Antonio Lecuona Neumann. Catedrático del Área de Máquinas y Motores Térmicos. Dpto. De Ingeniería Térmica y de Fluidos, [Grupo ITEA](#), [Universidad Carlos III de Madrid](#), Leganés, España.

2019

La información contenida en este documento sirve de propósito exclusivo como apuntes para alumnos en la enseñanza de la asignatura indicada y ha sido obtenida de las mejores fuentes que se han podido encontrar, generalmente de reconocido prestigio. No obstante el/los autor/es no garantizan la exactitud, exhaustividad, actualización o perfección de su contenido. Por ello no será/n responsable/s de cualquier error, omisión o daño causado por el uso de la información contenida, no tratando con este documento prestar ninguna clase de servicio profesional o técnico; antes bien, se ofrece como simple guía general de apoyo a la docencia. En caso de detectar algún error, rogamos nos lo comunique e intentaremos corregirlo. Puede contener material con copyright © por lo que su reproducción puede no estar permitida.

Introducción al capítulo 11: Energía hidroeléctrica y marina

Capítulo que describe dos fuentes de energía con un mismo principio, la hidráulica y sin embargo unos estados de desarrollo y características operativas muy diferentes.

Se introduce a la energía hidroeléctrica, desde los puntos de vista:

- Energético, su estado actual, características de producción y económicas, las de pequeño tamaño.
- Medioambiental, su impacto y su participación en la regulación del caudal de los ríos.
- De su principio de funcionamiento y de ello se introducen los distintos tipos de centrales. Salto, caudal y rendimientos.

Se introducen los distintos tipos de turbinas hidráulicas y se presenta el mapa de idoneidad como función del caudal y del salto, resultando de ello la potencia (tamaño).

Dado que generalmente la hidroeléctrica comporta un almacenamiento de agua en altura, su disponibilidad y capacidad de respuesta son muy altas, salvo que falte agua. Ello permite un precio de venta elevado.

Se introducen los distintos tipos de energía marina.

- Las hidráulicas usan las mareas, las olas y las corrientes marinas. En desarrollo.
- Las eólicas aprovechan la mayor disponibilidad de espacio libre en el mar, conjuntamente con el mayor recurso eólico que proporcionan los vientos marinos, para contrapesar el mayor coste. Está cerca su desarrollo masivo.
- Las térmicas. Aprovechan el gradiente térmico entre la superficie en mares tropicales, $\approx 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el fondo $\approx 4\text{ }^{\circ}\text{C}$, para hacer funcionar un ciclo Rankine de baja eficiencia y a baja presión. El agua fría traída a la superficie puede servir para acondicionamiento de aire interior y para granjas marinas. En desarrollo.

Con todo ello se consigue una primera aproximación cualitativa y en parte cuantitativa de las energías hidroeléctrica y marinas, generalmente para la producción de electricidad en la actualidad.

La materia se compone del núcleo expositivo más temas recordatorios (en este caso cálculo de la potencia hidráulica), cuestiones de autoevaluación y ejercicios propuestos.

Índice

11.1.- Energía hidroeléctrica. Características generales.

11.2.- Energía hidroeléctrica. Principios de funcionamiento.

11.3.- Tipos de centrales hidroeléctricas.

11.4.- Tipos de turbinas.

11.5.- Energía marina.

11.6.- Bibliografía.

11.7.- Cuestiones de autoevaluación.

11.8.- Actividades propuestas.

Objetivos: Ilustrar y formar sobre los principios y la tecnología de la producción de electricidad con el agua de los ríos y de los mares, así como por el viento en el mar.

11.1.- Energía hidroeléctrica. Características generales.

- Tecnología madura y fiable.
- Renovable y no genera residuos o contaminantes. No consume agua.
- Se puede aprovechar para otros usos: riego o regulación del caudal del río.
- Líneas eléctricas largas (parajes apartados).
- Largo tiempo de recuperación del capital.
- Bajo costes de mantenimiento y de operación.
- Por su alta disponibilidad y rapidez de respuesta se puede vender la electricidad a alto precio en el mercado.
- Gestionable, salvo carencia de agua.
 - [Grandes tamaños](#) (100 MW a 10 GW)
 - Medios ([mini-hidráulica](#) < 10 MW)
 - Pequeños ([micro-hidráulica](#) ~ kW)
 - Muy pequeños ([nano-hidráulica](#)) < kW.
- Genera un 20% de la electricidad mundial.
- Alto impacto ambiental

[Más información aquí.](#) [More here.](#) [More here.](#) [Hidroeléctrica en España.](#)

11.1.- Energía hidroeléctrica. Características generales (cont.).

Impacto ambiental de la hidroeléctrica:

- Inundación de territorio: desplazamiento de población, destrucción de hábitat y de tierras fértiles.
- Reducción de la biodiversidad acuática, terrestre y avícola.
- Interrupción del caudal natural de ríos y de las riadas naturales.
- Aumento de la evaporación del agua.
- Impedimento para la migración de peces.
- Sedimentos en el embalse.
- Cambios en la química del agua.
- Riesgos por rotura (corrimientos, seísmos, fallo estructural)
- Infecciones virales o bacterianas (malaria, cólera ...)
- Impacto visual.
- Hundimiento de terrenos.

(no siempre se presentan, ni simultáneamente)

11.2.- Energía hidroeléctrica. Principios de funcionamiento.

- Es necesario producir un salto h en el seno del agua para generar una sobre presión $\Delta P = \rho gh$.
- Una turbina aprovecha esa energía hidráulica y la convierte en par en un eje giratorio.
- Un generador eléctrico conectado a ese eje produce electricidad.
- La electricidad se inyecta a la red directamente. En instalaciones aisladas se puede operar en isla eléctrica (micro-red), tanto en CC como en CA.

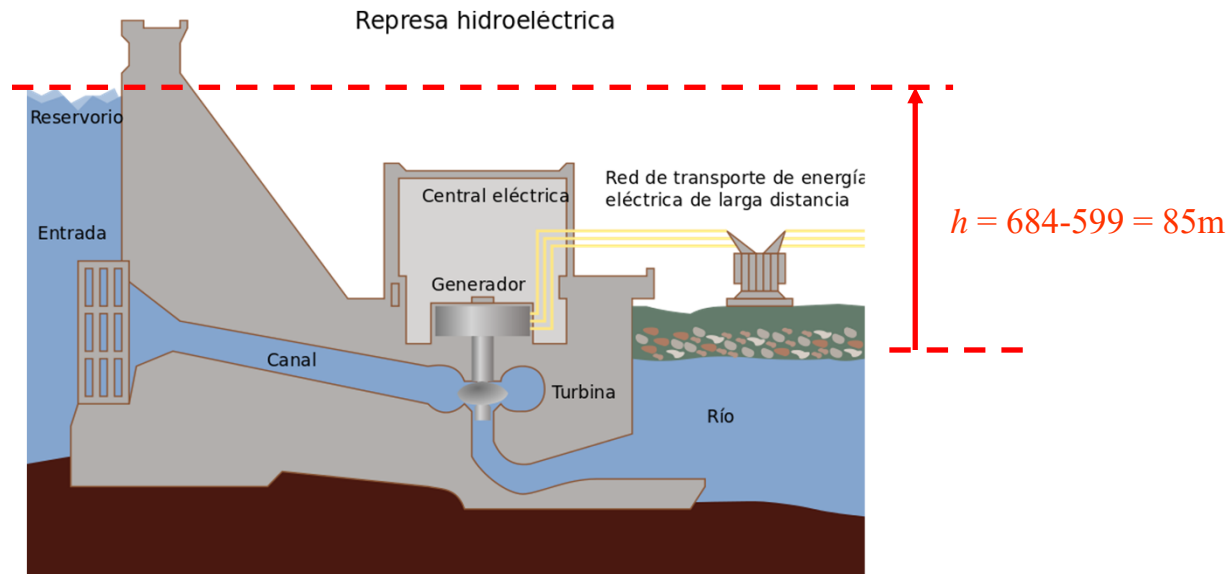


Figura 11.1.- Sección de un embalse con central termoeléctrica a pie de presa. Se señala el desnivel creado h . Se usan cuando el terreno río abajo es relativamente llano.

Fuente: Hydroelectric dam-es.svg, CC BY 3.0, [Wikipedia](#).

11.2.- Energía hidroeléctrica. Principios de funcionamiento (cont.).

- Potencia eléctrica W_e [[vatios](#)]:

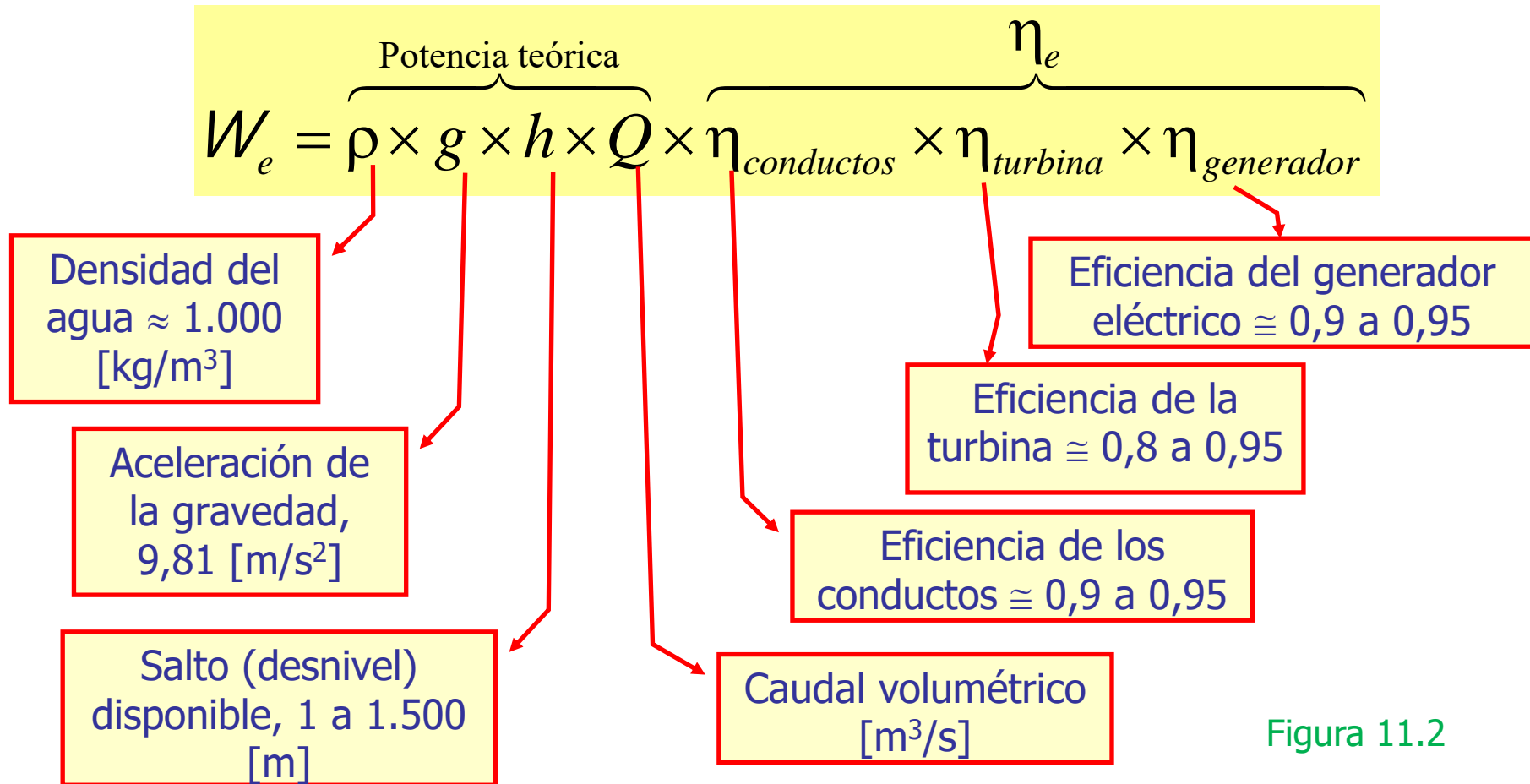


Figura 11.2

- La misma potencia se puede alcanzar con alturas muy grandes (montaña) y caudales pequeños que con alturas pequeñas y caudales grandes (llanos).

11.3.- Tipos de centrales hidroeléctricas.

1. Centrales de regulación del caudal. Disponen de un embalse que almacena agua a nivel alto y el caudal se elige a voluntad. Pueden producir electricidad todo el año, incluso con río seco, salvo agotamiento del agua embalsada. Son costosas aunque el kWh producido suele resultar barato.

I. Con central a pie de presa: desniveles medianos, Fig. 11.1.

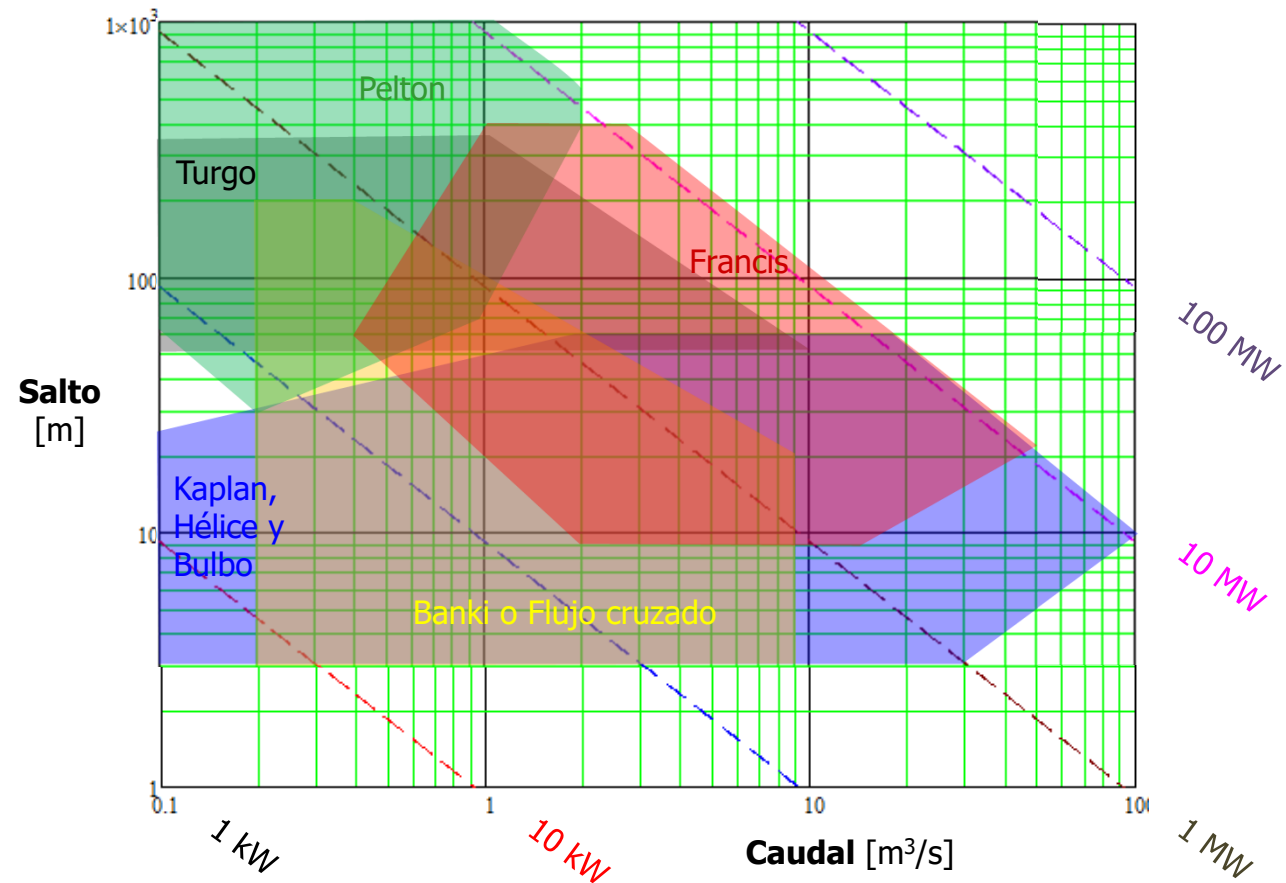
II. Con derivación: grandes desniveles por uso de una tubería forzada, Fig.11.2.

2. Centrales de bombeo: Disponen de dos embalses a distinto nivel, lo que permite turbinar del alto al bajo y bombear del bajo al alto, consumiendo electricidad cuando ésta sobre (noches), resultando barata. Es un sistema de almacenamiento y se suelen llamar "reversibles". Más aquí. El rendimiento de "ida y vuelta" de recuperar electricidad consumiéndola antes ronda el 70%.

3. Centrales de agua fluyente: Se acepta el caudal tal cual viene, quizás con un pequeño embalsamiento. Una vez turbinado se devuelve al río.

11.4.- Tipos de turbinas.

- La turbina idónea depende del salto hidráulico y del caudal nominales.
- Caso de ser necesaria una potencia mayor se montan varias en paralelo.
- Áreas de idoneidad. Las líneas de trazos indican potencia constante con $\eta_e = 0,9$.



[Elaborado por el autor]

11.4.- Tipos de turbinas (cont.).

- Tipos de turbinas de agua:
 - [De bulbo](#). Variante de la Kaplan para saltos muy pequeños y grandes caudales.
 - [De hélice](#). Variante de Kaplan sin paso variable.
 - [Kaplan](#). Para pequeños saltos. [Más aquí](#).
 - [Francis](#). Para saltos medios. [Más aquí](#).
 - [Banki](#), o de flujo cruzado. Para saltos medios y caudales moderados.
 - [Turgo](#). De impulso, variante de la Pelton. Saltos grandes.
 - [Pelton](#). De impulso. Para grandes y muy grandes saltos. [Más aquí](#).
- El rendimiento de las turbinas hidráulicos es muy alto, superior a 0,9 en su punto operativo de diseño, especialmente para grandes tamaños. Decrece al reducir la carga; esto es, al cerrar la entrada de agua para dar menos potencia, incluso si se dispone de geometría variable. A tamaños menores le corresponden rendimientos menores.

11.5.- Energía marina.

- Es posible aprovechar para producir electricidad: las mareas (mareomotriz), las olas (undimotriz), las corrientes marinas, el gradiente salino y el gradiente térmico oceánico (OTEC).
- Mención especial merece la energía eólica marina, si bien se trata en el capítulo de energía eólica. Experimenta actualmente un desarrollo importante.
- La energía mareomotriz hace uso de:
 - Las corrientes inducidas por las mareas cerca de la costa y especialmente en estuarios.
 - El salto hidráulico periódico entre pleamar y bajamar confinando el agua en un embalse, en lugares propicios donde la marea se amplifica por resonancia hidráulica o corrientes.
 - El impacto ambiental y la escasez de lugares idóneos ha limitado el desarrollo de este recurso.

11.5.- Energía marina (cont.).

- La energía undimotriz aprovecha la energía mecánica de las olas, haciendo uso de una diversidad de artilugios mecánicos, tanto en la costa, como mar adentro.
 - La duración del sistema, el impacto ambiental y el coste de la energía actualmente reducen su implementación, mientras avanzan los estudios y [plantas piloto](#).
 - El coste de la línea de evacuación de la electricidad limita el alejamiento de la costa posible.
- El aprovechamiento de la energía de las [corrientes marinas](#) se pretende realizar con turbinas submarinas similares a las eólicas.
 - Consideraciones similares a la undimotriz. Destaca la gran predictibilidad de esta forma de energía y su constancia. La ser la densidad del agua ~ 1.000 veces la del aire, la longitud de las palas es mucho menor a igualdad de potencia.
- Las energías de gradiente salino y de temperatura se encuentran en fase experimental.

11.6.- Bibliografía.

- [1] Sanz Osorio J. F. Energía Hidroeléctrica. Ed. Prensas Universitarias De Zaragoza, 2008.
- [2] Lecuona A., Nogueira J. I. Turbomáquinas. Ed. Ariel Ciencia y Tecnología, 2000.
- [3] Agüera J. Mecánica de fluidos Incompresibles y Turbomáquinas Hidráulicas. Editorial Ciencia 3, 2002.
- [4] Viedma A., Zamora B. Teoría y Problemas de Máquinas Hidráulicas. Ed. Horacio Escarabajal Editores , 2000.
- [5] Garcia Alarcón C. J. Saltos Hidroelectricos: Conceptos Basicos Y Aplicaciones. Ed. Delta, 2010.
- [6] Martinez G., Serrano M. M.. Minicentrales Hidroeléctricas: Mercado Eléctrico, Aspectos Técnicos y Viabilidad Económica de las Inversiones. Ed. Bellisco, 2004, ISBN 978849527995.

11.7.- Cuestiones de autoevaluación.

11.1	La hidroeléctrica es la generación más rápida que existe en responder frente a demandas de cambio de potencia.	SI
11.2	Una vez amortizada la central hidroeléctrica, es la fuente de electricidad más barata.	SI
11.3	Son posibles aprovechamientos hidroeléctricos con saltos tan bajos como 1 metro.	SI
11.4	Las turbinas Pelton pueden acometer saltos incluso superiores a 1 km.	SI
11.5	La hidroeléctrica puede suponer una barrera infranqueable a la migración de peces.	SI
11.6	Son posibles turbinas de hasta más de 10 MW.	SI
11.7	No necesariamente hay que interrumpir el caudal del río con una explotación hidroeléctrica.	SI
11.8	En la montaña, es posible aumentar el salto del embalse con una tubería a presión montaña abajo.	SI
11.9	No está determinada la vida de las explotaciones hidroeléctricas.	SI
11.10	Las turbinas de agua disponen de medios para reducir al caudal y con ello la potencia.	SI
11.11	El mantenimiento de una central hidroeléctrica es alto.	NO
11.12	En una central a pie de presa, al bajar el nivel de agua, baja el salto.	SI

11.7.- Cuestiones de autoevaluación.

11.13	La energía marina más desarrollada es la eólica.	SI
11.14	La energía undimotriz se encuentra en fase de explotación comercial.	NO
11.15	Los fondos marinos se encuentran a una temperatura cercana a los 4 °C, lo que hace que el posible aprovechamiento del gradiente térmico marino sea más probable en aguas tropicales.	SI
11.16	La diferencia de altura entre pleamar y bajamar en altamar no pasa de 1 metro, pero cerca de las costas puede llegar a 10 metros en ciertos lugares. Mareas .	SI

11.7.- Actividades propuestas.

Actividad propuesta 11.1: Extensión 2 páginas máximo. Localice información acerca de la potencia hidroeléctrica instalada en España y distinga entre grandes centrales y pequeñas centrales: mini-hidráulica e incluso micro-hidráulica. Compare estas cifras y compare también con el resto de potencia eléctrica instalada.

Fuentes: [Hidroeléctrica en España](#). [Wikipedia](#).

Solución:

11.7.- Actividades propuestas.

Actividad propuesta 11.2: Extensión 2 páginas máximo. Haciendo uso de la ecuación que permite el cálculo de la potencia de una turbina eólica, con un valor razonable de $C_p = 0,4$ (Cap. 12), estime la potencia de una turbina de eje horizontal para corrientes marinas con una velocidad de 1 m/s como función del diámetro. Compare esta velocidad con la de la corriente de las Canarias y la del estrecho de Gibraltar, disponible en Internet. Compare el resultado con el diámetro de una turbina eólica atmosférica con 6 m/s de viento, valor representativo en un emplazamiento rentable actualmente.

Solución:

$$\left. \begin{array}{l} W = C_p \frac{1}{2} \rho v^3 \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) \\ \rho = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; C_p = 0,4 \\ \text{Canarias: } v \approx 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}; \text{ Gibraltar: } v \approx 3,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{array} \right\} W = \left\{ \begin{array}{l} 19,6 \\ 4239 \end{array} \right\} D^2$$

$$\left. \begin{array}{l} W = C_p \frac{1}{2} \rho v^3 \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) \\ \rho = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; C_p = 0,4 \\ v = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{array} \right\} W = C_p \frac{1}{2} \rho v^3 \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) = 7,7 D^2$$