ENERGÍA GEOTÉRMICA

1. Introducción.

Se entiende como “geotermia” todo fenómeno que se refiere al calor almacenado en el interior de la Tierra, siendo la “energía geotérmica” la derivada de este calor (debido principalmente al vulcanismo y a la radiactividad natural de las rocas). El calor se transmite a través del subsuelo y llega a la superficie muy lentamente, por lo que la mayor parte queda almacenado en el interior de la tierra durante mucho tiempo.

La temperatura del núcleo puede llegar hasta 4000°C, pero ésta v el gradiente de 30°C/km (3°C/100m). Existen zonas de la tierra donde este gradiente es mucho mayor, del orden de 200^{0}C/km, por lo que son los lugares idóneos para extraer el calor.

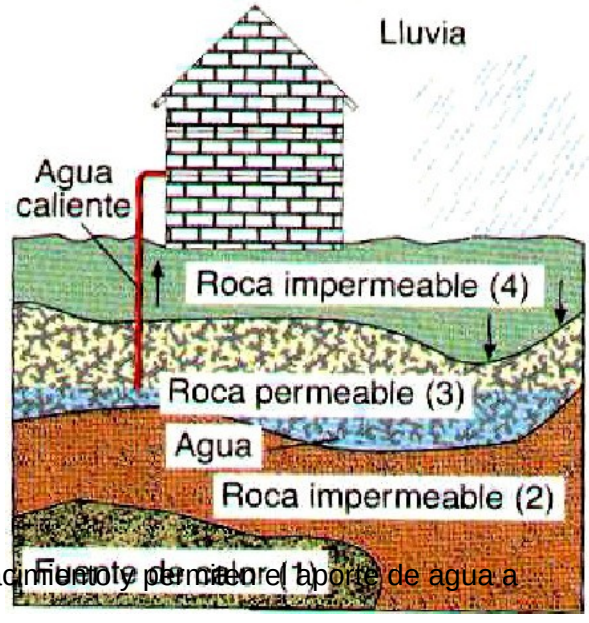
Generalmente las alteraciones geotérmicas de mayor magnitud presentan unas “**manifestaciones superficiales**” que indican su posible existencia, y que pueden ser:

- Vulcanismo reciente
- Zonas de alteración hidrotermal
- Emanaciones gaseosas
- Fuentes termales y minerales
- Anomalías térmicas

Las plantas geotérmicas aprovechan el calor generado por la tierra. A varios kilómetros de profundidad en tierras volcánicas se han encontrado cámaras magmáticas, con roca a varios cientos de grados centígrados. Además en algunos lugares se dan otras condiciones especiales como son capas rocosas porosas y capas rocosas impermeables que atrapan agua y vapor de agua a altas temperaturas y presión y que impiden que éstos salgan a la superficie. Si se combinan estas condiciones se produce un yacimiento geotérmico.

2. Yacimiento geotérmico. Tipos

Se define como **yacimiento geotérmico** un *volumen de roca con temperatura anormalmente elevada para la profundidad a que se encuentra, susceptible de ser recorrida por una corriente de agua que pueda absorber calor y transportarlo a la superficie*. (esta definición no implica que el agua se encuentre en el yacimiento a priori) Según las características geológicas de los yacimientos, éstos pueden ser:



· **Sistemas hidrotérmicos**: Formado por una fuente de calor a profundidad relativamente pequeña (500m – 10km), que garantiza un elevado flujo térmico por un largo periodo de tiempo, recubierto de roca impermeable caliente que permite la transferencia de calor a la capa de roca permeable que hay por encima de ella conteniendo agua (acuífero), permitiendo la circulación de ésta cerca de la roca caliente.

Sobre el acuífero se encuentra una capa de roca impermeable y algunas fallas que delimitan el yacimiento y permiten el aporte de agua a partir de las precipitaciones.

www.yoquieroaprobar.es

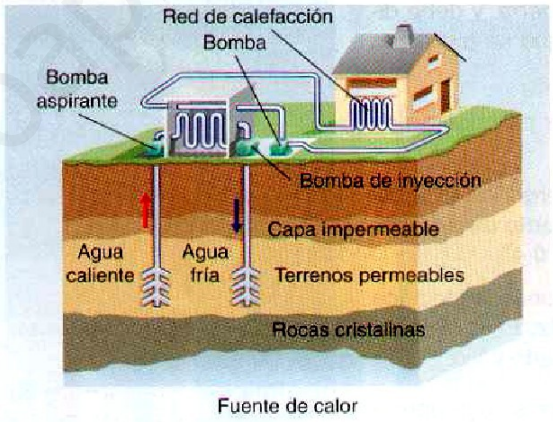
El agua adquirirá la temperatura del sistema geotérmico y se encontrará en estado líquido, en forma de vapor o como mezcla de líquido y vapor según las condiciones de P y T del yacimiento:

- Los sistemas en los que predomina el vapor se utilizan para producir energía eléctrica en turbinas de vapor, obteniéndose agua caliente como subproducto.
- Los sistemas en los que predomina el agua, a mayor o menor T, pueden pre - sentar dificultades de uso pues contiene sales disueltas, gases corrosivos y partículas sólidas (corrosión de los álabes). Son muy abundantes en EEUU, Ita - lia, Japón e Islandia.
- **Sistemas geopresurizados:** Son similares a los anteriores pero se encuen- tran a mucha más profundidad, por lo que el líquido caloportador se encuentra sometido a grandes presiones, pudiendo alcanzar hasta 100 atm (1000 bares). En estas formaciones hay energía acumulada en tres formas: presión hidráuli- ca, agua caliente y metano.

Se espera gran aprovechamiento en el futuro, pero actualmente no muy desarrollados,

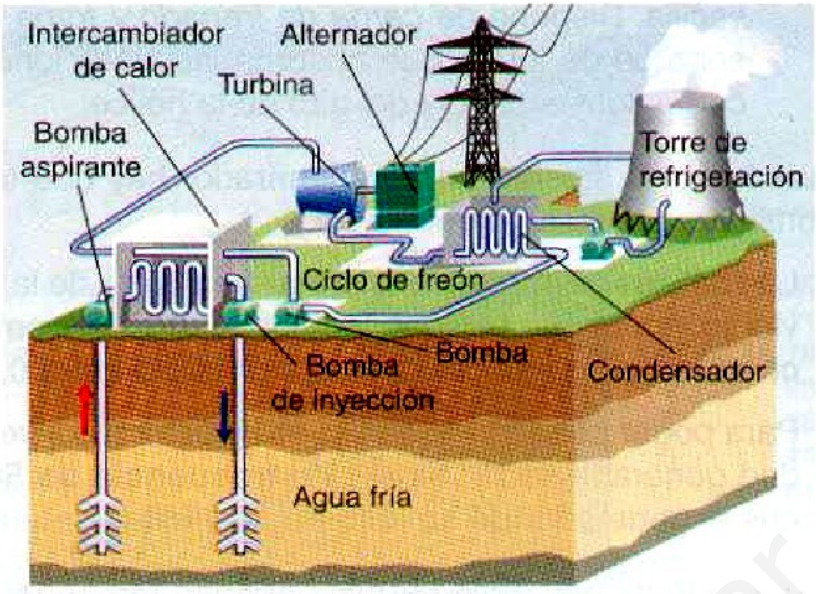
Sistemas de roca seca caliente: Formados por bolsas de rocas impermeables a muy alta temperatura (250 – 300ºC) y sin fluido portador de calor (acuífero), por lo que es necesario aportar agua de forma artificial para poder extraer el calor (se hacen dos perforaciones; se introduce agua fría por una de ellas y se obtiene agua caliente por la otra. Problema, toda la roca es impermeable, con lo que el agua no pasa de un conducto a otro y si se ponen muy juntos no hay mucha transferencia de calor), además de la necesidad de crear grandes superficies de transmisión de calor fracturando la roca Los sistemas explotados hasta ahora son los correspondientes a los yacimientos hidrotérmicos que, a su vez, según la temperatura del yacimiento pueden ser de:

- **Baja temperatura** (60 – 150 ºC ⇒ Uso doméstico, aplicación directa del ca- lor por rentabilidad)



La temperatura del foco oscila en torno a los 100 ºC. Se utilizan para calefacción, invernaderos, balnearios, etc. El agua fría a presión se introduce en las proximidades del foco de calor, donde se eleva su temperatura y luego se extrae. El agua caliente puede utilizarse directamente o bien puede ceder el calor acumulado al fluido que circulará posteriormente por el circuito de calefacción.

- **Alta temperatura** (a partir de 150 ºC ⇒ Producción de electricidad)



La temperatura del foco puede llegar a alcanzar 1250ºC. Se utilizan para la producción de electricidad. Es necesario que existan capas de materiales permeables que permiten la circulación de los fluidos capaces de extraer el calor de la roca (1,5 – 2 km), y otras impermeables para evitar la disipación de calor. El agua inyectada se convierte en vapor sobrecalentado por efecto del foco de calor y posteriormente se extrae. Este vapor cede su calor a un fluido, el freón, que se vaporiza. El vapor generado mueve el grupo turbina-alternador y se genera la energía eléctrica.

3. Explotación y utilización de yacimientos geotérmicos

Antes de proceder a la explotación de un yacimiento geotérmico es necesario conocer:

- Profundidad y espesor del acuífero
- Calidad, caudal y temperatura del fluido
- Permeabilidad y porosidad de las rocas

Una vez conocidos estos factores, la explotación se realiza mediante sondeos análogos a los petrolíferos. Sin embargo, para no agotar el agua se suele reinyectar ésta al acuífero mediante otro pozo.

Asimismo, es necesario evitar la corrosión que suele producir el fluido geotérmico utilizando materiales no atacables lo que hace que, en general, este tipo de explotación precise de una inversión inicial muy elevada.

La energía geotérmica puede ser utilizada en dos campos, definidos por la temperatura que alcanza el fluido geotérmico: alta y baja temperatura. El límite práctico entre ambos no está claramente fijado, pero se puede situar entre 130 ^{o} y 150°C.

Los yacimientos de alta temperatura se utilizan en la producción de energía eléctrica, cuyo coste suele ser casi la mitad que el de la electricidad producida en una central térmica convencional. Ahora bien, al ser la calidad de la energía geotérmica inferior a la de los combustibles convencionales, el rendimiento de conversión es muy pobre. Así con un fluido a 300^{0}C enfriado hasta una temperatura ambiente de 20 ^{o}C, el rendimiento real del proceso no supera el 30 %.

Por su parte, la mayor abundancia de los yacimientos de baja temperatura ha obligado a desarrollar nuevos procesos que permitan el aprovechamiento del agua caliente de los mismos, cuya temperatura no suele ser superior a los 100ºC. Así los tres campos en los que la geotermia de baja temperatura puede encontrar aplicación son:

- Calefacción urbana
- Calefacción industrial
- Calefacción agrícola

Los principales obstáculos que se oponen a la geotermia de baja temperatura son básicamente:

- Grandes inversiones iniciales
- Bajo rendimiento
- Imposibilidad de transporte

4. Energía geotérmica en España.

Tiene muy poco desarrollo y representa el 0'1% de la producción de energía renovable. Se usa en balnearios, invernaderos, para agua caliente, etc. Las zonas de mayor potencial son Cataluña, Andalucía, Madrid, Burgos y Canarias. En Lanzarote, a 3m de profundidad se ha encontrado una temperatura de 485ºC, pero la tecnología actual no permite un aprovechamiento adecuado. La tendencia es hacia proyectos de baja temperatura de forma general.

5. Ventajas e Inconvenientes

Ventajas	Inconvenientes
Fuente renovable	Las zonas de aprovechamiento presentan una gran actividad geológica, tanto sísmica como volcánica, lo que encarece las instalaciones, que deben ser seguras.
Reduce el consumo de combustibles fósiles	impacto visual, alterando el ecosistema
Su suministro es regular, lo que permite efectuar previsiones de abastecimiento	Niveles de ruido (perforaciones y sistemas operativos de funcionamiento de la planta)
	Contaminación del aire (emisión de vapor geotérmico y gases no condensados)
	Uso y contaminación de las aguas del entorno (el agua que se extrae contiene sustancias nocivas)

Las plantas geotérmicas, como las eólicas o solares, no queman combustibles para producir vapor que gire las turbinas. La generación de electricidad con energía geotérmica ayuda a conservar los combustibles fósiles no renovables, y con el menor uso de estos combustibles, reducimos las emisiones que ensucian nuestra atmósfera. Hay un aire sin humo alrededor de las plantas geotérmicas, de hecho algunas están construidas en medio de granjas de cereales o bosques, y comparten tierra con ganado y vida silvestre local.

El área de terreno requerido por las plantas geotérmicas por MW es menor que otro tipo de plantas. Las instalaciones geotérmicas no necesitan intervenir ríos o talar bosques, y no hay instalaciones mineras, túneles, piscinas de desecho ni fugas de combustible.

www.yoquieroaprobar.es

CUESTIONES

1. Indica qué es la energía geotérmica y qué condiciones deben darse para que se pueda aprovechar.

2. ¿Cuál es el gradiente de temperatura “normal” cuando vamos hacia el interior de la tierra.

3. Nombra tres manifestaciones superficiales que indiquen la posible existencia de un yacimiento geotérmico.

4. Explica qué es un yacimiento geotérmico y nombra tres lugares en los que existan esos yacimientos y se estén aprovechando.

5. Los yacimientos se clasifican en tres grupos según sus características geológicas, ¿cuáles son?

6. Los sistemas hidrotérmicos, a su vez, pueden ser de dos tipos en función de la temperatura, ¿cuáles son y cuál es el límite de temperatura entre uno y otro?

7. Indica por qué los sistemas hidrotérmicos en los que predomina el agua pueden presentar dificultades de uso.

8. Explica, ayudándote de un dibujo, cómo se podría aprovechar un sistema de roca seca caliente.

9. ¿Cuáles son las aplicaciones principales de la energía geotérmica?

10. Enumera dos ventajas y dos inconvenientes del uso de la energía geotérmica.

www.yoquieroaprobar.es

TEMA 10 - ENERGÍA DE LOS OCÉANOS

1. Introducción.

Las mareas tienen su origen en la atracción del Sol y de la Luna. Sobre las grandes masas de agua incide notablemente y hay zonas costeras donde la altura del agua varía incluso más de 10 m por este efecto. Esta es una de las condiciones necesarias para su utilización.
Los océanos actúan como captadores y acumuladores de energía, que se intenta usar para satisfacer nuestras necesidades energéticas. Las formas de aprovechamiento son:
· Diferencia de altura de las mareas (Energía mareomotriz)
· Gradientes térmicos (Energía maremotérmica)
· Olas (Energía undimotriz)

2. ENERGIA MAREOMOTRIZ

2.1. Mareas

1. En la mayoría de los lugares hay dos mareas altas y dos mareas bajas por día (cada 6 horas). (Al sur del mar de China sólo hay una marea al día; en Tahití las mareas no están relacionadas en absoluto con el movimiento de la Luna, sino que tiene lugar regularmente a mediodía y a medianoche "mareas solares")
2. Las mareas altas generalmente tienen lugar cuando la luna está en el horizonte
3. Las mareas más altas son las de la luna llena y la luna nueva; las más bajas, a medio camino entre esos puntos. Las mareas altas de luna llena y nueva se llaman *mareas vivas*, las más bajas en el primer y tercer cuartos se llaman *mareas muertas*
4. El grado de las mareas (diferencia de altura) es generalmente de 1 a 3 metros, pero pueden ser mucho más altas (12 m en Francia, 15 m en Canadá) o más bajas (15 a 30 cm en el Mediterráneo) en algunos lugares.
5. La explicación de las mareas solares, las mareas diarias del sur de China, o las mareas de 15 m de la bahía de Fundy (Newfoundland) es debida a las irregularidades de los fondos oceánicos.

Las mareas dependen de:

- La atracción gravitatoria Tierra - Luna
- Fuerza centrífuga
- Atracción gravitatoria Sol -Tierra- Luna
- Profundidad de los océanos
- Irregularidades de los fondos oceánicos

2.2. Centrales mareomotrices. Características. Funcionamiento

La potencia aprovechable de las mareas a escala mundial es del orden de 60 a 70 millones de kW anuales, que es el equivalente energético de 2000 millones de toneladas de carbón.
La capacidad de producción real es muy limitada, pues para que sea rentable construir una central mareomotriz, es necesario que:

- La diferencia de altura de las mareas sea significativamente grande (mínimo 5 m)
- La fisonomía de la costa permita la construcción de diques

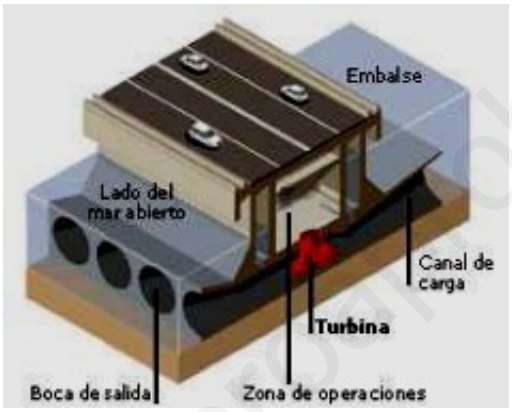
La construcción de una central mareomotriz requiere el *cerramiento de un estuario* o una *bahía* mediante un dique provisto de compuertas. En cada una de ellas se

www.yoquieroaprobar.es

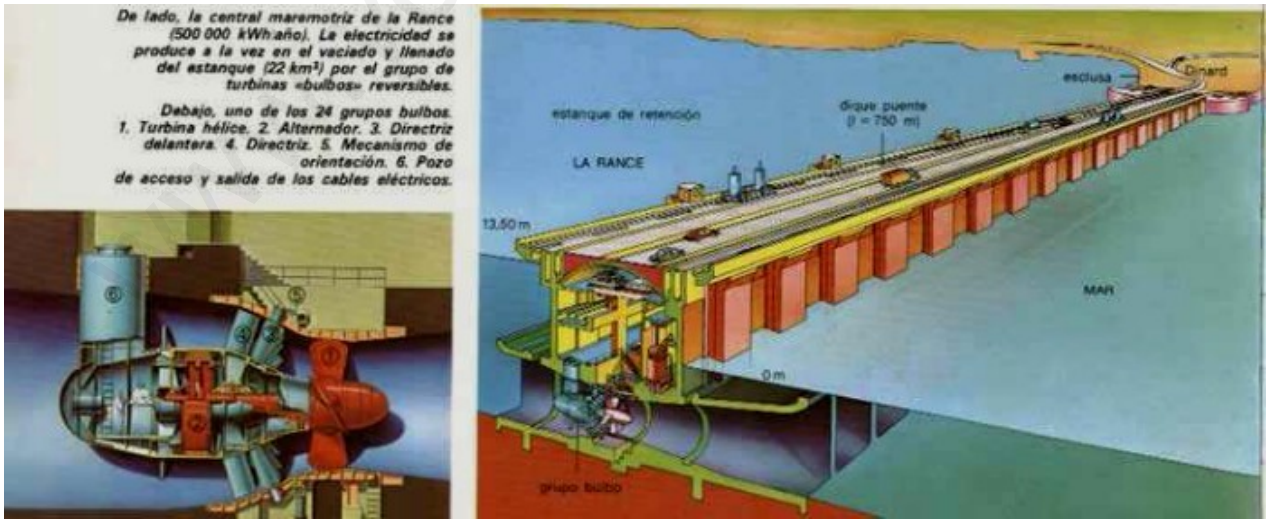
instala una turbina tipo bulbo (similares a las Kaplan) de baja presión y de palas orientables, conectada a un alternador.
Estos grupos son capaces de funcionar como generadores de electricidad y como bombas de impulsión del agua en ambos sentidos La secuencia de funcionamiento durante un ciclo pleamar – bajamar es la siguiente:

- Al subir la marea, el agua penetra en el embalse y acciona los grupos turbina- alternador, con los que se obtiene energía eléctrica
- Al final de la pleamar, las turbinas actúan como bombas y provocan el sobre- llenado del embalse
- Cuando baja la marea, el agua regresa de nuevo al mar, vuelve a accionar los grupos turbina alternador y de nuevo se obtiene energía eléctrica
- Al final de la bajamar, las turbinas actúan otra vez como bombas y provocan un sobrevaciado del embalse.

Los álabes de las turbinas, pueden variar su posición y dejar paso libre al agua en caso de necesidad.



Esquema de funcionamiento de una central mareomotriz
La única central mareomotriz operativa en la actualidad es la del estuario de *La Rance*, en Francia, inaugurada en 1967 con una potencia generada de 240MW. Otros proyectos abandonados por problemas técnicos son: *Bahía de Fundy* en Canadá, o *Estuario del río Severn* en Gran Bretaña.



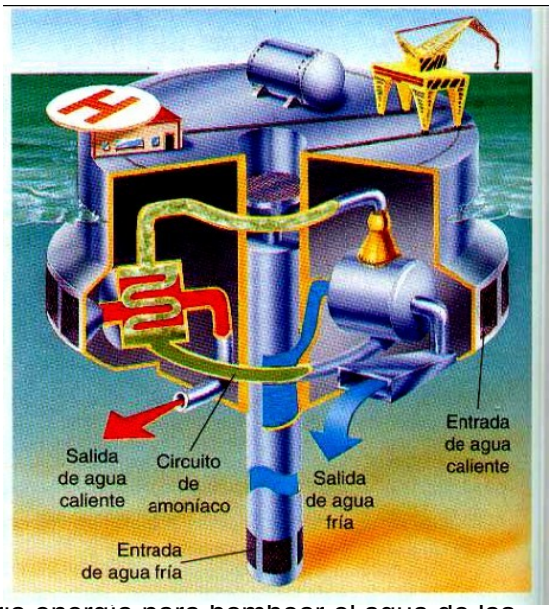
2.3. Ventajas e inconvenientes

Ventajas	Desventajas
Fuente de energía renovable	Impacto visual
Disponibilidad todo el año	Depende de la diferencia de amplitud de las mareas
Apto para aquellas zonas en las que no llega el suministro de manera convencional	Impacto en los ecosistemas de la zona (cambios de salinidad, subida de mareas, acumulación de tierras, metales pesados,...)
	Alto coste de las instalaciones.

.

3. ENERGIA MAREMOTÉRMICA

La absorción de energía solar por el mar, da lugar a que el agua de la superficie posea un nivel térmico superior al de las capas inferiores, pudiendo variar hasta 25ºC desde la superficie (25 – 30ºC)
a 1000 m de profundidad (4ºC), siendo esta diferencia de temperatura constante a lo largo del año.
Para aprovechar este gradiente térmico se emplean los motores térmicos, que funcionan entre dos focos de calor; el foco caliente a la temperatura del agua superficial (T_c) y el foco frío o punto a menos temperatura (T_f).
La transformación de la energía térmica en eléctrica, se lleva a cabo por medio del ciclo de "Rankine" (ciclo termodinámico en el que se relaciona el consumo de calor con la producción de trabajo), en el que un líquido se evapora para pasar luego a una turbina. El ciclo puede ser abierto o cerrado.
· **Abierto:** Utilizan directamente el agua del mar. El agua de la superficie se evapora a baja presión y acciona las turbinas. Posteriormente se devuelve al mar donde se licúa de nuevo.
· **Cerrado:** Se utilizan fluidos de bajo punto de ebullición, como el amoniaco, el freón o elpropano. El calor de las aguas superficiales es suficiente para evaporarlos. El vapor generado se utiliza para mover las turbinas, y posteriormente es enfriado utilizando agua de las capas profundas, con lo que el ciclo vuelve a comenzar.



Los componentes principales de una planta maremotérmica, son:

- Evaporador
- Turbina
- Condensador
- Tuberías y bombas
- Estructura fija o flotante
- Sistema de anclaje
- Cable submarino (central flotante)
- Problemas principales:
- Escasa diferencia de temperatura Necesaria energía para bombear el agua de las profundidades.
- Problemas de corrosión.
- Usos de una planta maremotérmica:

- Producción de energía eléctrica
- Producción de agua potable en los sistemas de ciclo abierto
- Generación de hidrógeno
- Acuicultura, utilizando el agua de las profundidades, más rica en nutrien- tes, para desarrollar diferentes especies marinas

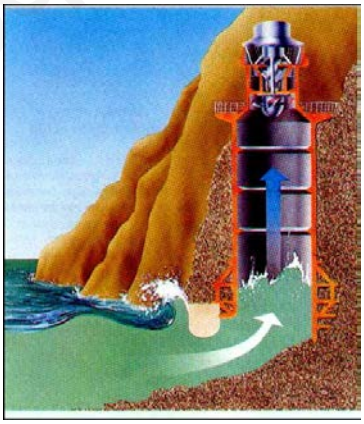
3.1. Ventajas e inconvenientes

Ventajas	Desventajas
Fuente de energía renovable	Impacto visual
Disponibilidad todo el año	Depende de la diferencia de temperatura
	Impacto en los ecosistemas de la zona
	Alto coste de las instalaciones.

4. ENERGÍA DE LAS OLAS (UNDIMOTRICES)

Las olas que se producen en la superficie del mar son provocadas por los vientos, de los que recogen y almacenan energía. Al no ser éstos constantes ni en velocidad ni en dirección, las olas producidas no son regulares, por lo que es bastante complicado determinar y aprovechar la energía que transportan. Como aproximación, una ola de 3 m de altura es capaz de suministrar entre 25 y 40 kW por metro de frente.
El aprovechamiento es difícil y complicado, y el rendimiento obtenido es muy bajo, a lo que hay que añadir el impacto ambiental que sufriría la zona.
Los captadores de olas, todos aún en fase experimental, pueden ser de dos tipos:

- **Activos:** los elementos de la estructura se mueven como respuesta a la ola y se extrae la energía utilizando el movimiento relativo que se origina entre las partes fijas y móviles.
- **Pasivos:** La estructura se fija al fondo del mar o en la costa y se extrae la energía directamente del movimiento de las partículas de agua.



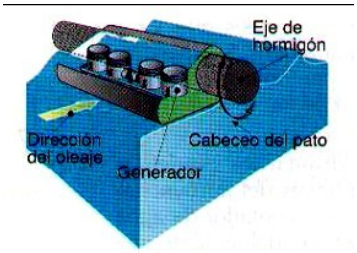
Captador pasivo

Se pueden aprovechar tres fenómenos básicos que se producen en las olas:

- Empuje de la ola
- Variación de la altura de la superficie de la ola
- Variación de la presión bajo la superficie de la ola.

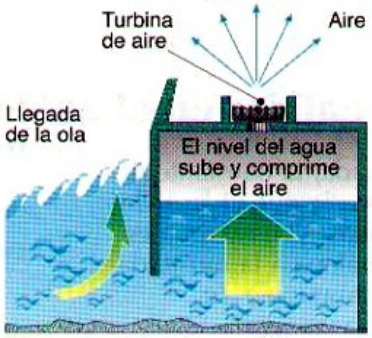
Los absorbedores más rentables se caracterizan en tres grupos:

- **Totalizadores:** Situados perpendicularmente a la dirección de la ola inciden- te, es decir, paralelo al frente de ola para captar la energía de una sola vez (Rectificador Russel, Pato Salter, Balsa Cockerell)



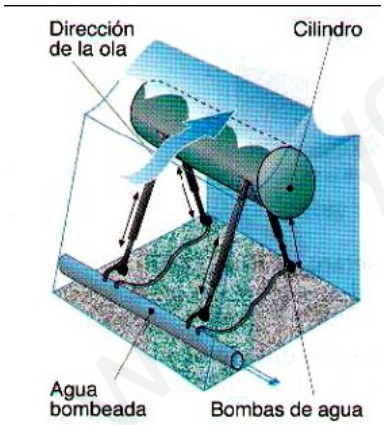
Pato Salter(35%)

- **Atenuadores:** Largas estructuras con su eje mayor colocado paralelo a la dirección de propagación de las olas, para absorber la energía de un modo progresivo (Buque Kaimei, Bolsa de Lancaster).
- **Absorbedores puntuales:** Captan la energía de la porción de ola inci- dente y la de un entorno más o menos amplio. Suelen ser cuerpos de revolución, por lo que no importa la dirección (Boya Masuda, Convertidor de Belfast)



Boya Masuda
(se incorpora a boyas que generan su propia luz 70 – 120 w)

El movimiento del cilindro se transmite a las bombas, situadas en la base de los tubos de anclaje. Éstas succionan agua y la bombean a elevada presión a una turbina. La electricidad generada se transmite hasta la orilla por medio de cables submarinos. El cilindro de hormigón tiene una longitud de 45m y 11m de diámetro .



Cilindro oscilante de Bristol

En España aún no se aprovecha este tipo de energía de forma comercial, solamente en Cantabria y el País Vasco existen dos centrales piloto, una en Santoña y otra en Mutriku (Guipúzcoa). También existe un proyecto para instalar una planta en Granadilla (Tenerife). Se están realizando nuevas instalaciones en Galicia.
En la costa Portuguesa, se inauguró parte de una planta en septiembre de 2008, pero se cerró en marzo de 2009 por problemas técnicos y financieros.

4.1. Ventajas e inconvenientes

Ventajas	Desventajas
Fuente de energía renovable	Impacto visual
Disponibilidad todo el año	Depende del oleaje
	Impacto en los ecosistemas de la zona
	Alto coste de las instalaciones.
	Problemas en épocas de temporal

www.yoquieroaprobar.es

CUESTIONES

1. Indica cuáles son las formas para obtener energía de los océanos.

2. La energía mareomotriz aprovecha las variaciones de la marea. ¿Qué efectos son los que dan lugar a estas variaciones? ¿Las mareas son iguales en todos los lugares del planeta?

3. ¿Qué características deben darse en una zona geográfica determinada para aprovechar la energía de las mareas?

4. En una central mareomotriz, ¿se aprovecha la pleamar o la bajamar?. Justifica tu respuesta.

5. Las turbinas que se instalan en una central mareomotriz se caracterizan por tres aspectos principales, ¿cuáles son?

6. Nombra dos lugares en los que haya instalada una central mareomotriz o al menos un proyecto de ella.

7. Para aprovechar el gradiente térmico de los océanos, deben cumplirse unas condiciones, ¿cuáles?

8. ¿Qué diferencias existen entre una central de ciclo abierto y cerrado?

9. ¿Cuáles son los problemas principales con los que se encuentra este tipo de aprovechamiento de la energía?
10. Indica cuáles son las aplicaciones principales de la energía maremotérmica.

11. Explica las diferencias entre un sistema captador de olas activo y uno pasivo.

12. ¿Qué aspectos de una ola se pueden aprovechar para obtener energía?

13. Grupos en los que se clasifican los absorbedores y pon un ejemplo de cada uno de ellos.

14. Elige un modelo de absorbedor, el que quieras, busca alguna imagen o dibújalo y explica detalladamente su funcionamiento. Indica qué dificultades y qué ventajas encuentras en su uso.

15. Haz una tabla en la que aparezcan dos ventajas y dos desventajas de cada una de las formas de aprovechar la energía de los océanos.

www.yoquieroaprobar.es

www.yoquieroaprobar.es