



Energías convencionales, limpias y su tecnología

Energía eólica e hídrica



Tecnológico
de Monterrey

Tecnologías de conversión

El flujo de agua convertido en energía eléctrica

Como verás a continuación, existen una serie de fenómenos naturales y principios físicos que se pueden aprovechar para **convertir el flujo de agua en energía**.

Por un lado, se puede extraer la **energía cinética** del agua mientras esta cae en el campo gravitacional de la Tierra. Así mismo también se puede

generar energía eléctrica a partir de las **mareas**, que son consecuencia de las fuerzas gravitacionales que ejercen la Luna y el Sol sobre la Tierra.

Veamos ahora con más detalle estos principios de conversión.

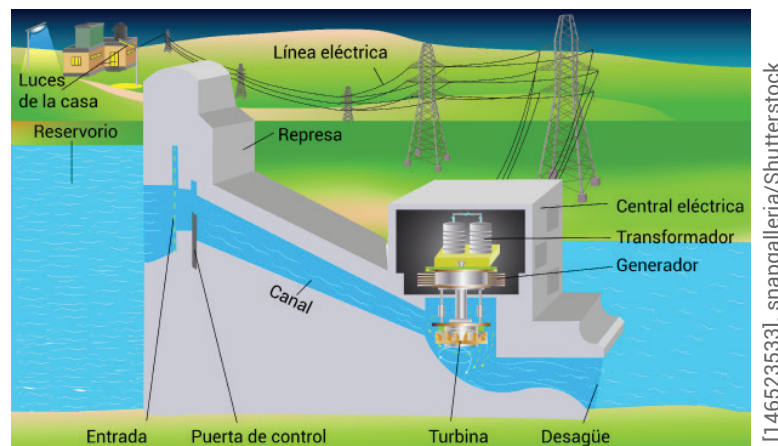
Principio de conversión 1: extracción de energía cinética del agua.



Imágenes tomadas y utilizadas conforme a la licencia de Shutterstock.com

Este principio es el más antiguo de todos y por mucho el más importante. Se trata de extraer la energía cinética $E_{kin} = 1/2 mv^2$ del flujo de una masa de agua (m) moviéndose a una velocidad (v), para convertirla primero en energía mecánica de una turbina hidráulica y en última instancia, en energía eléctrica a través de un generador eléctrico.

En el caso de utilizar una presa para almacenamiento, la energía disponible a extraerse está determinada por la diferencia $E_{pot} = mgh$ en energías potenciales gravitacionales, donde h es la diferencia entre el nivel superior de la presa y la altura de la turbina y g la constante de aceleración gravitacional ($=9.81 \text{ m/s}^2$).



Es importante considerar que en estos casos es necesario extraer energía a un ritmo constante, por lo que nos interesa la **potencia** más que la **energía**. La potencia es la razón de cambio con la que se puede extraer energía por unidad de tiempo, por lo tanto **se tiene que sustituir la masa** (m) por el **flujo másico** $\dot{m}$ para llegar a la potencia.

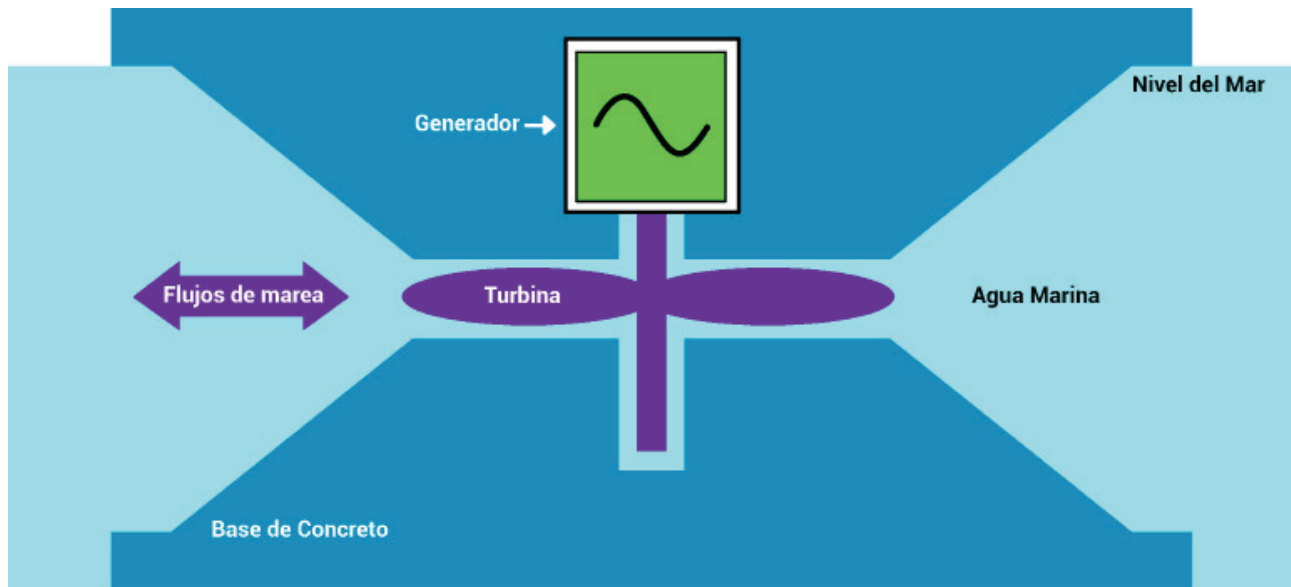
Si consideramos que solo una fracción η de la potencia, conocida como eficiencia, se puede convertir en energía útil, la potencia extraída por una turbina hidráulica en una presa sería: $P_{ext} = \eta \rho g h Q$, donde Q es el flujo volumétrico (en m^3/s) y ρ es la densidad del agua. La eficiencia se compone de una parte atribuible a la turbina y una al generador eléctrico; y ambas pueden alcanzar valores muy cercanos a 1, teniendo como resultado un total de eficiencia de 95% en grandes presas hidroeléctricas.

A diferencia de la eficiencia de conversión de la energía eólica, la eficiencia de una turbina hidráulica puede llegar a valores cercanos al 100% dado que se cuenta con opciones técnicas para la concentración del flujo. Como demostró el gran matemático Leonard Euler entre 1752 y 1756, la **potencia extraíble** depende solo de la diferencia del **momentum angular del flujo entrante** a una turbina y **el saliente**, por lo que es factible realizar diseños que lleguen a eficiencias de cerca del 100%, minimizando el **momentum angular saliente**.

Principio de conversión 2: extracción de energía cinética del agua.

Como se mencionó en el subtema anterior, las mareas se deben a las diferencias en las fuerzas gravitacionales que ejercen la Luna y el Sol sobre la Tierra, mismas que ocasionan movimientos en los cuerpos de agua. Respecto a la extracción de energía, a continuación se explican las principales técnicas que existen para aprovechar dichos movimientos de las mareas.

Presas maremotrices



En estas presas se usa la energía potencial gravitacional asociada a las diferentes alturas del nivel del mar. Cuando sube la marea se canaliza el flujo del agua hacia la presa y en el trayecto se puede generar energía eléctrica si se colocan turbinas hidráulicas en el paso del agua. Posteriormente cuando la marea retrocede se descarga la presa, de manera similar que en una presa hidroeléctrica construida sobre un río.

Generadores de flujo maremotriz

En este tipo de generadores, también conocidos como turbinas mareomotrices, se aprovechan corrientes marinas causadas por las mareas. La potencia extraíble en un flujo de expansión libre se puede calcular a partir de la fórmula $P_{ex} = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p$

donde ρ es la densidad del medio (en este caso del agua), A el área barrida por el rotor, v la velocidad media del flujo y C_p el llamado coeficiente de potencia con un valor máximo de 59%.

Dado que la densidad del agua es aproximadamente tres órdenes de magnitud más

grande que la del aire, se pueden cosechar grandes cantidades de energía aún en flujos de agua relativamente lentos. Sin embargo cabe mencionar que, a diferencia de las turbinas eólicas, la tecnología de los generadores de corrientes marinas aún se encuentra en un estado temprano de desarrollo y requerirá de muchos más proyectos para volverse una tecnología capaz de sobrevivir en mercados competitivos.

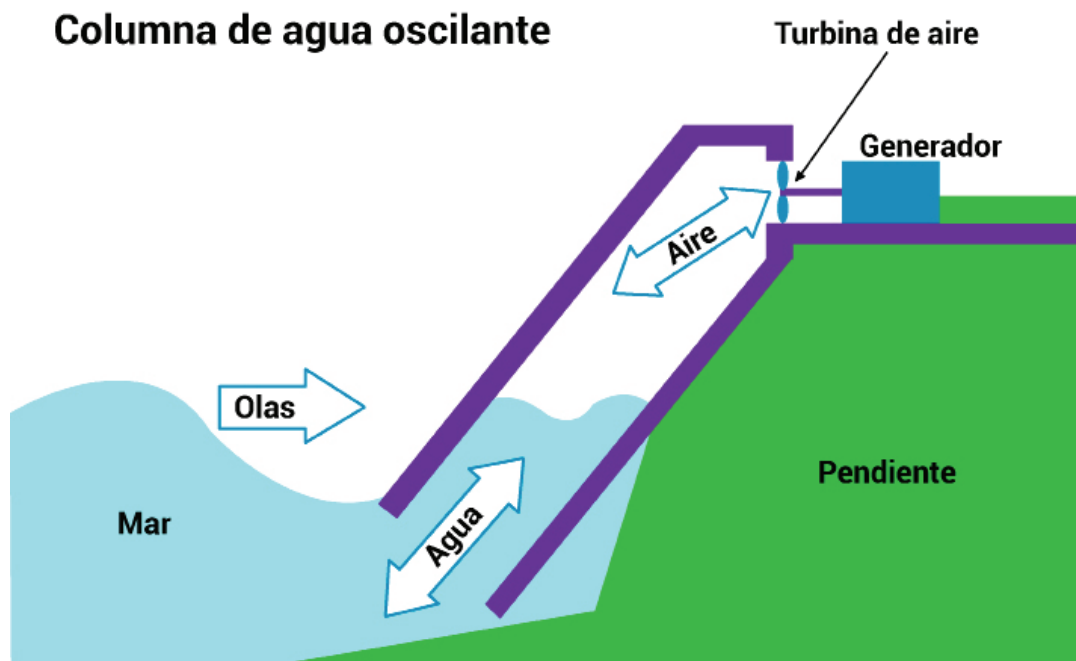
Principio de conversión 3: extracción de energía del oleaje.

El oleaje se debe a la interacción del flujo de viento con la superficie marina. Tanto las diferencias de presión al frente y atrás de una cresta de agua, como la fricción entre el aire y la superficie del agua, generan esfuerzos de corte en la misma y conducen al desplazamiento vertical de las masas de agua, siendo la gravedad el mecanismo de restitución principal.

El flujo de potencia asociado al movimiento de las olas se puede calcular a partir de , $P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_{m0}^2 T_e$ donde H_{m0} es la altura significativa de las olas, misma que se define actualmente como la desviación estándar de la elevación de la superficie del mar; T_e es el período temporal de la ola; y g es la aceleración gravitacional. Nótese que P es una densidad de potencia lineal, es decir, se mide en Watts o vatios (potencia) sobre metros.

Respecto a este principio, existen varias tecnologías de conversión aunque a la fecha ninguna ha alcanzado un nivel comercial. Algunos ejemplos son:

Convertidores de columnas de agua oscilante



Esta tecnología se presta para el aprovechamiento del oleaje en sitios costeros, aunque también se puede implementar en dispositivos flotantes como boyas.

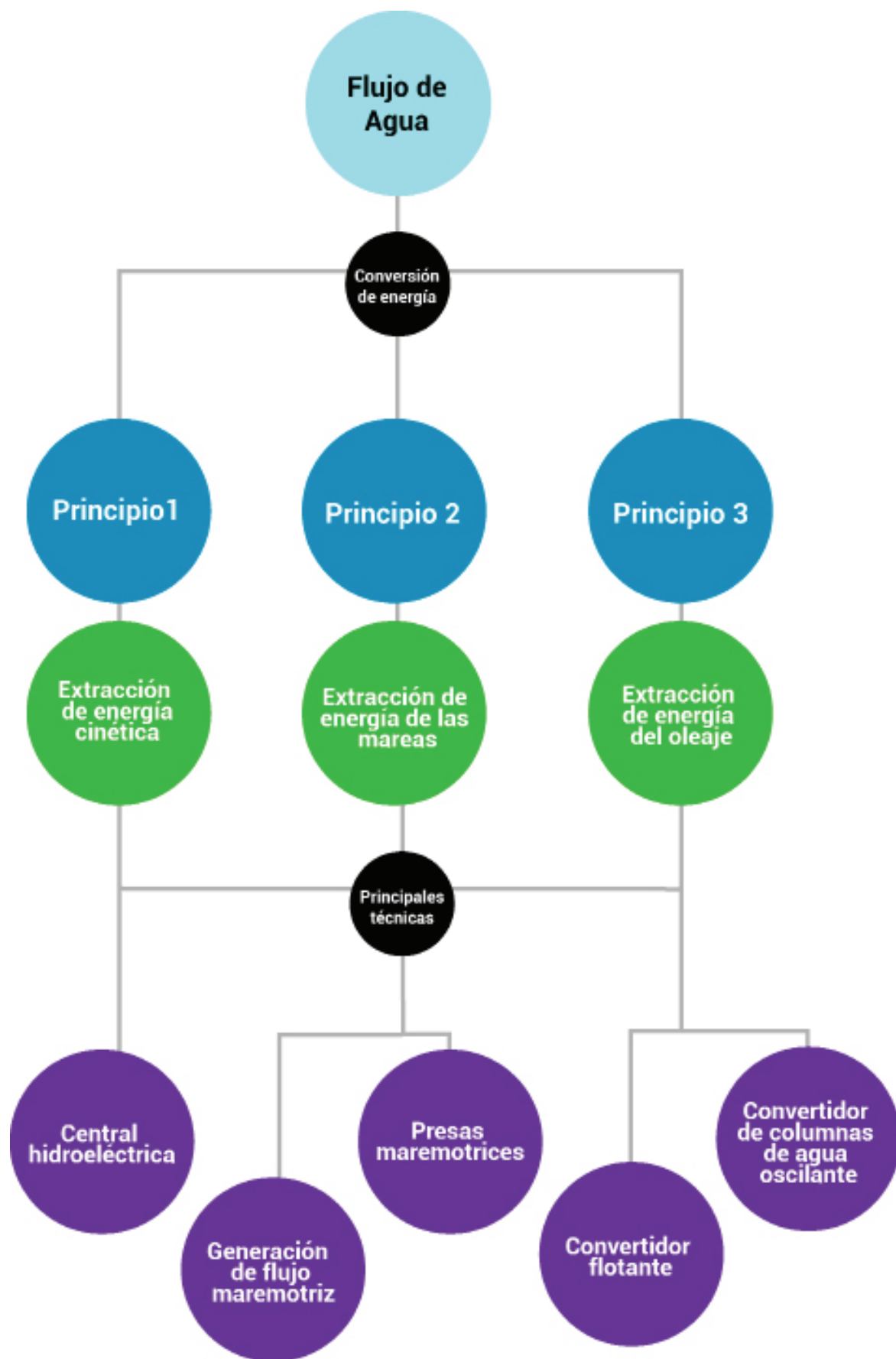
Como puedes apreciar, las variaciones en el nivel del agua se traducen en variaciones de presiones de aire en una columna limitada por el agua en la parte inferior y una turbina de aire en la parte superior. A través de la turbina se expande el aire, generando trabajo mecánico en el rotor y posteriormente electricidad en un generador eléctrico acoplado al mismo eje. Cabe señalar que el flujo del aire es bidireccional, razón por la cual se deben cumplir al menos una de las siguientes dos opciones: la turbina debe tener la capacidad de generar en ambas direcciones del flujo o se tiene que agregar un mecanismo basado en válvulas que rectifique el flujo a través de la turbina.

Convertidores flotantes

A pesar de que el perímetro de los mares en el mundo es inmenso, existe un número limitado de sitios costeros que se prestan para la instalación de convertidores de oleaje. Las restricciones incluyen asentamientos humanos, áreas naturales protegidas y un nivel de oleaje insuficiente. Por lo tanto, la búsqueda de alternativas que puedan aprovechar el oleaje en mar abierto tiene mucho sentido. Un ejemplo que alcanzó cierta fama fue el convertidor de energía de las olas Pelamis (Pelamis Wave Energy Converter). Pelamis usa secciones cilíndricas semisumergidas conectadas entre sí mediante bisagras y pistones hidráulicos, los cuales bombean aceite a través de motores hidráulicos, después de pasar por acumuladores hidráulicos utilizados para el suavizado de la generación. La generación eléctrica se da a través del acoplamiento con generadores eléctricos. La energía de todas las juntas es canalizada a través de un solo cable hacia una caja de conexiones en el suelo marino, la cual conecta el dispositivo con el continente a través de un cable submarino.

La idea del convertidor Pelamis es aprovechar el amplio rango de olas de bajas amplitudes que ocurren con mayor frecuencia. El mecanismo es sensible a la curvatura de las olas en vez de las amplitudes, lo cual permite aprovechar mejor las olas de baja amplitud. Además su rango de oscilación no necesita ser muy alto, ya que la curvatura está limitada por el rompimiento natural de las olas.

Como puedes ver, el flujo del agua puede ser aprovechado para convertirse en energía a través de diferentes mecanismos. A continuación podrás apreciar un gráfico que engloba estas diferentes formas que acabas de revisar para convertir el flujo del agua en energía.



Trabajo realizado en el marco del Proyecto 266632 "Laboratorio Binacional para la Gestión Inteligente de la Sustentabilidad Energética y la Formación Tecnológica", con financiamiento del Fondo de Sustentabilidad Energética CONACYT-SENER (Convocatoria: S001920101).

El trabajo intelectual contenido en este material, se comparte por medio de una licencia de Creative Commons (CC BY-NC-ND 2.5 MX) del tipo "Atribución-No Comercial Sin Derivadas", para conocer a detalle los usos permitidos consulte el sitio web en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/mx>



Se permite copiar, distribuir, reproducir y comunicar públicamente la obra sin costo económico bajo la condición de no modificar o alterar el material y reconociendo la autoría intelectual del trabajo en los términos específicos por el propio autor. No se puede utilizar esta obra para fines comerciales, y si se desea alterar, transformar o crear una obra derivada de la original, se deberá solicitar autorización por escrito al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



CFE
Comisión Federal de Electricidad

CONACYT
45 años

Tecnológico
de Monterrey

INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
ELECTRICAS

Colaboran:

Berkeley
UNIVERSITY OF CALIFORNIA

ASU ARIZONA STATE
UNIVERSITY