



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA.

INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA DE LAS CENTRALES TÉRMICAS DE  
ENERGÍAS OCEÁNICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO, AGUA  
POTABLE Y SALMUERAS.

TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

YOANA MARGARITA ROMERO FUENTES

DIRECTOR DE TESIS

M.EN I. RAFAEL SÁNCHEZ DIRZO.



AGOSTO 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	7
Objetivos.....	11
CAPÍTULO I ENERGÍAS DEL OCÉANO.	
1.0 Los océanos.....	13
1.1 ¿Qué son las energías de los océanos?.....	13
1.2 ¿Qué es OES?.....	15
1.3 ¿Por qué la energía oceánica como opción?.....	16
1.3.1 Suministro mundial de energía.....	17
1.3.2 Recursos de la energía.....	20
1.4 Formas de energía oceánica.....	20
1.4.1 Energía de las mareas.....	21
1.4.2 Energía de las corrientes marinas.....	23
1.4.3 Gradiente de salinidad.....	25
1.4.4 Energía mediante olas.....	27
1.4.5 Energía térmica oceánica.....	30
1.5 Países miembros de la OES.....	33

1.6 Ventajas y desventajas de las energías de los océanos...	34
--	----

## CAPÍTULO II LOS GRADIENTES TÉRMICOS DEL MAR. EL CASO DE MÉXICO

2.0 La temperatura en el mar.....	36
2.1 Temperatura de la superficie del mar.....	40
2.2 Energía térmica oceánica.....	43
2.3 Temperatura de los Mares de México.....	45
2.4 Condiciones actuales.....	45

## CAPÍTULO III LAS CENTRALES TÉRMICAS DE ENERGÍA OCEÁNICA (OTEC)

3.0 ¿Qué es la conversión de energía térmica oceánica?.....	48
3.1 OTEC.....	49
3.2 Antecedentes sobre las tecnologías OTEC y las investigaciones.....	50
3.3 Mecanismos de funcionamiento de una central térmica oceánica.....	53

3.3.1Ciclo Rankine.....	54
3.3.2 Ciclo kalina.....	55
3.3.3 Ciclo Uehara.....	58
3.4 Logros en la energía OTEC.....	59
3.5 Tecnología OTEC.....	62
3.5.1 Investigación necesaria.....	65
3.6 Beneficios de la OTEC.....	66
3.7 Planta, diseño y ubicación.....	67
3.7.1 Instalaciones en tierra y cercanas a la costa.....	68
3.7.2 Periodo de instalaciones.....	69
3.7.3 Instalaciones flotantes.....	70
3.8 Los mercados para la OTEC.....	74
3.8.1 Futuro e innovación.....	75
3.8.2 Mejoras de las plantas de OTEC.....	76
3.9 Planta de OTEC, potenciada por energía solar (SOTEC)....	77
3.10 Sistemas de OTEC como complemento de otros sistemas de generación de energía.....	78

3.10.1 Invernaderos de agua de mar.....81

3.10.2 Sistema asesino de huracanes.....82

## CAPÍTULO IV INTEGRACIÓN DE LAS OTEC CON LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO, AGUA POTABLE Y SALMURAS.

4.0 Productos resultantes de OTEC.....85

4.1 Producción de hidrógeno a través de energía térmica oceánica.....86

4.1.1 Modelo matemático.....89

CONCLUSIONES.....101

### TABLAS.

Tabla 1: potencia y densidad de energía de fuentes oceánicas.

Tabla 2: recursos del océano.

Tabla 3: propiedades físico –químicas a condición estándar.

## DIAGRAMAS.

Diagrama 1: ciclo termodinámico OTEC para la producción de energía eléctrica.

Diagrama 2: enfoque de producción limpia actual de las tecnologías OTEC.

Diagrama 3: diagrama general del ciclo Kalina.

Diagrama 4: diagrama general del ciclo Uehara.

Diagrama 5: planta de SOTEC.

Diagrama 6: sistema OTEC, junto con un electrolizador.

## ESQUEMAS.

Esquema 1: ciclo Rankine.

Esquema 2: isla energética.

BIBLIOGRAFÍA.....105

## AGRADECIMIENTOS:

A todas las personas que han estado incondicionalmente conmigo apoyándome en todos los aspectos de la vida, en especial a mis padres que jamás me han permitido dejar inconclusas las cosas , y me enseñaron que cuando empiezas algo siempre lo debes terminar, si no todo lo realizado no tiene el mismo valor.



## INTRODUCCIÓN

Las energías provenientes de los océanos ofrecen oportunidades significativas para reducir la presencia de los hidrocarburos como combustibles y contribuir a generar energía eléctrica con todos los beneficios que ello conlleva en particular la producción de hidrógeno, agua potable y salmueras ricas en diversos minerales marinos. La explotación científica de los recursos energéticos de los mares puede contribuir a construir un futuro energético sostenible deseable para México. La generación de energía eléctrica de los océanos puede abastecer también de agua potable y productos químicos, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y minimizar las emisiones mundiales de carbono, al mismo tiempo de disminuir los impactos sobre los ambientes marinos.

El despliegue de la energía oceánica puede proporcionar beneficios significativos en términos de puestos de trabajo e inversiones: en el 2030 (Teske S, Pregger T. 2010) por ejemplo, el despliegue de la energía del océano podría crear 160,000 puestos de trabajo directos. A medida que avanza la globalización, los próximos 20 años es probable que veamos un rápido crecimiento de las economías de ingresos bajos y medios. El consumo de energía per cápita para 2030 es probable que crezca más o menos al 0,7% anual. (Energy Outlook 2011)

Los ahorros globales de carbono obtenidos mediante el despliegue de la energía oceánica pueden ser considerables: en 2050 este nivel de despliegue de la energía del océano podría ayudar a dejar de emitir hasta 5.2 mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año. (tecnología de la energía ,2010). El consumo mundial de energía primaria aumentó en un 45% en los últimos 20 años, y es probable que crezca en un 39% en los próximos 20 años. Durante el período 1990-2010, los combustibles fósiles contribuyeron el 83% del crecimiento de la energía, en los próximos veinte años, los combustibles fósiles suponen un 64% del crecimiento. ( Teske S, Pregger T. 2010)

Las energías renovables (incluyendo biocombustibles) representan el 18% del crecimiento de la energía hasta el año 2030. La velocidad a la que las energías renovables penetran en el mercado global de energía es similar a la aparición de la energía nuclear en los años 1970 y 1980. La demanda para cada fuente de energía es cada vez mayor y durante la última década, el carbón ha sido la fuente de más rápido crecimiento mundial de la energía para cumplir con el 47% de la demanda de electricidad nueva. La contribución de los combustibles fósiles para el crecimiento de la energía primaria se prevé un descenso del 83% (1990-2010) a 64% (2010-2030). La contribución de las energías renovables para el crecimiento energético aumenta de 5% (1990-2010) al 18% (2010-2030). (Energy Outlook 2011)

Debido a las mayores tasas de crecimiento de la actividad económica, la producción industrial, de la población y la urbanización pertenecientes a la OCDE representan la mayor parte de la demanda. En el año 2000 el consumo de energía de China fue sólo la mitad de los Estados Unidos, pero para el año 2009 China había superado a los EE.UU. para convertirse en el más grande consumidor de energía. Proyecciones a futuro sugieren que estos dos países seguirán siendo los primeros consumidores de energía durante las próximas décadas. Debido al reconocimiento de los efectos antropológicos sobre el cambio climático, una creciente cantidad de atención se presta a la producción de energía a partir de fuentes de energía renovables y tecnologías bajas en carbono. Otras motivaciones para este cambio son el aumento de los precios del petróleo, la seguridad energética, la competitividad industrial, el desarrollo económico local y otros impactos ambientales como la contaminación. El mercado de energías renovables ha experimentado tasas de crecimiento de 30% a 40% en los últimos años debido a la creación de políticas de mercado y reducción de costos. El consumo mundial de electricidad se ha proyectado en un crecimiento de 2,5% anual entre 2008 y 2035 de 16.819 TWh a 32.922 TWh, suponiendo que las actuales políticas energéticas nacionales se mantengan sin cambios. ( Teske S, Pregger T. 2010)

En 2008, más de 3.700 TWh de energía se producen en el mundo mediante el uso de fuentes renovables. Esto se espera que se triplique a 9.000 TWh en el año 2035, suponiendo que las actuales políticas permanecen sin cambios. .( Teske S,Pregger T. 2010)

Sin embargo, la introducción de políticas como reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y mejorar la eficiencia del uso final de energía podría conducir a un aumento de 11.000 - 14.500 TWh. La energía hidroeléctrica es actualmente la principal fuente de energía renovable, con otras formas tales como la eólica, la biomasa y los biocombustibles, la energía solar fotovoltaica, energía geotérmica y oceánica. La energía del océano puede experimentar el más rápido crecimiento de todas las formas de energía renovable durante este período. Los océanos contienen el 97% de agua de la Tierra y el 71% de la superficie de la Tierra es cubierto por agua de mar. Aproximadamente 3,000 millones de personas viven a menos de 200 km de la costa y la migración seguramente lo duplicará para el año 2025. .(Energy Outlook 2011).Las fuentes de energía marinas ofrecen por tanto un potencial listo para la generación de energía, obtención de agua potable y la oferta de otros productos a los mercados de la costa.

Los recursos energéticos del océano se encuentran en:

- Las corrientes oceánicas.
- Mareas y sus corrientes.
- Energía térmica
- Gradientes de salinidad
- Olas

Estos recursos de los océanos son bastos, pero no están distribuidos uniformemente. La energía de las olas tiende a ser mayor en latitudes más altas, mientras que la energía térmica oceánica se distribuye sobre el ecuador. Gradientes de salinidad y amplitud de las mareas son de distribución irregular. El punto clave es que alguna forma de energía oceánica está disponible en todas las costas y a menudo más de una forma podría abastecer las necesidades locales de energía. Estas diferentes formas de energía oceánica pueden ser aprovechadas para producir electricidad, agua potable, calor, hidrógeno y biocombustibles. Uno de los grandes problemas de la humanidad es encontrar la manera de abastecer su demanda de energía por medio de las fuentes renovables disminuyendo con ello la presencia de los hidrocarburos como combustible. El desarrollo de tecnologías para la explotación de la energía solar y del viento ha adquirido un desarrollo sin precedentes y es de esperar un crecimiento exponencial para las próximas décadas. Las energías provenientes de los mares empiezan apenas a conocerse entre la sociedad mexicana aunque su desarrollo mundial lleva décadas de crecimiento. Es fundamental desarrollar y difundir tecnologías capaces de explotar las 5 formas que tienen los océanos de proporcionar su energía: en particular la proveniente de los gradientes térmicos entre la superficie del mar y su profundidad. México posee inmensos recursos térmicos oceánicos y las centrales que los explotan se llaman Centrales Térmicas de Energía Oceánica, (OTEC en inglés, Ocean Thermal Energy Central).

## OBJETIVO DE LA TESIS:

Desarrollar los conceptos básicos para el diseño de las centrales térmicas de energía oceánica como alternativas para la producción de energía eléctrica, formando una conciencia de energía limpia, en un país como México que cuenta con todas las posibilidades para producir esta misma.

# Capítulo I: Energías del océano.

# CAPITULO I: ENERGÍAS DE LOS OCÉANOS.

## 1.0 LOS OCÉANOS

Los océanos son grandes masas de agua que separan los continentes. Cada masa tiene una distinta temperatura y un grado concreto de salinidad. De este modo, la franja ecuatorial puede tener temperaturas que oscilan entre los 25 y los 28 grados. La amplia variedad de energías renovables nos permite contar con diversas fuentes de energía aseguradas de forma ilimitada. Entre todas estas, el océano es un recurso muy rico a nivel de aprovechamiento energético.

El océano conforma dos tercios de la superficie terrestre, lo cual significa un vasto recurso energético que debemos comprender bien para utilizarlo como recurso renovable de forma eficiente.

## 1.1 QUE SON LAS ENERGÍAS DE LOS OCÉANOS

La energía marina o energía de los mares se refiere a la energía renovable transportada por las olas del mar, las mareas, la salinidad y las diferencias de temperatura del océano. El movimiento del agua en los océanos del mundo crea un vasto almacén de energía cinética o energía en movimiento. Esta energía se puede aprovechar para generar electricidad que alimente las casas, el transporte y la industria.

Los océanos, como es ampliamente conocido, ocupan el 75% de la superficie de la tierra. Esta gran superficie recibe el 80% de la energía solar, en forma de calentamiento del agua, provocado por el viento y generando grandes corrientes marinas y olas. Por expresarlo de una forma sencilla los mares actúan como gigantescos acumuladores de energía, por ahora sin explotar.

Además de la energía que reciben del sol, los océanos están sometidos a la atracción gravitatoria de la luna y del sol generando grandes movimientos de tipo periódico denominados mareas.

El agua de mar constituye un inmenso colector de energía solar. La radiación del Sol calienta las capas superficiales de los océanos y pone en movimiento los vientos que azotan su superficie y forman las olas. Por otro lado, las mareas provocan el movimiento de grandes masas de agua que se pueden utilizar para la producción de energía.

Nuestros océanos son una fuente de energía prácticamente inagotable que apenas se aprovecha. Se ha estimado que su potencial energético podría proporcionar anualmente el equivalente a 2000 millones de toneladas de carbón, es decir, 60 o 70 millones de kW. Este potencial del mar se manifiesta de tres formas distintas, la energía de las mareas, de las olas y las diferencias térmicas entre las distintas profundidades. Existen diversas formas de aprovechamiento de la energía del océano. En primer lugar, se producen desplazamientos de grandes masa de agua, de gran energía cinética.

Estas corrientes se podrían aprovechar directamente o bien utilizar las mareas, mediante embalses artificiales adecuados. Las olas y ondas también son otra forma de energía que podría aprovecharse. En segundo lugar, existe energía térmica almacenada en el mar, la cual se manifiesta a través de un gradiente de temperatura entre la superficie y las capas de aguas más profundas, que se encuentran a temperatura inferior, debido a la gran inercia térmica que posee el mar. En tercer lugar, en el mar podemos encontrar energía de tipo químico, que se



originan a partir de las diferencias de concentración de sal, donde las aguas de baja salinidad fluyen a las aguas salinas de los océanos. Una alternativa adicional consiste en utilizar la “biomasa”, es decir, las plantas y algas marinas que mediante procesos adecuados permitirían obtener gases o líquidos combustibles.

Según estudios realizados por diversos autores (Wick y Schmitt, 1977), considerando la superficie total que cubren los océanos ( $3 \times 10^{14} \text{ m}^2$ ), el potencial energético mundial y la densidad de energía de cada una de las cinco fuentes mencionadas anteriormente pueden resumirse como lo señala la tabla 1.0

Tabla 1.0 Potencia y densidad de energía de fuentes oceánicas.

FUENTE OCÉANICO	POTENCIA $10^{12}$ WATTS	DENSIDAD DE ENERGÍA Watts –hora/m <sup>3</sup>
Mareas	0.03	28
Corrientes	0.05	0.14
Gradientes de temperatura	2.00	580
Gradientes de salinidad	2.60	670
Oleajes	2.70	4.2

\* Fuente Wick y Schmitt, 1977 “Ocean Engineering”

### 1.2.0 ¿QUÉ ES OES?

OES (ocean energy systems) es la colaboración intergubernamental entre los países, que opera bajo un marco establecido por la Agencia Internacional de la Energía en París. OES fue fundada por tres países en 2001 y ha crecido hasta en la actualidad a 19 países.

Los gobiernos nacionales designan a una parte contratante para que lo represente en el Comité Ejecutivo (Consejo Ejecutivo). La Parte contratante puede ser un

gobierno ministerio u organismo, un instituto de investigación o universidad, una asociación industrial o Incluso una empresa privada. La afiliación es por invitación y el pago de una cuota anual de suscripción. La fuerza de OES es una organización intergubernamental, lo cual le confiere una voz internacional autorizada. Los diversos antecedentes de su Consejo Ejecutivo garantizan que todos los puntos de vista pueden estar representados en reuniones, desde los gobiernos centrales a los desarrolladores de proyectos de energía marina.

### 1.3.0 ¿POR QUÉ ENERGÍA OCÉANICA?

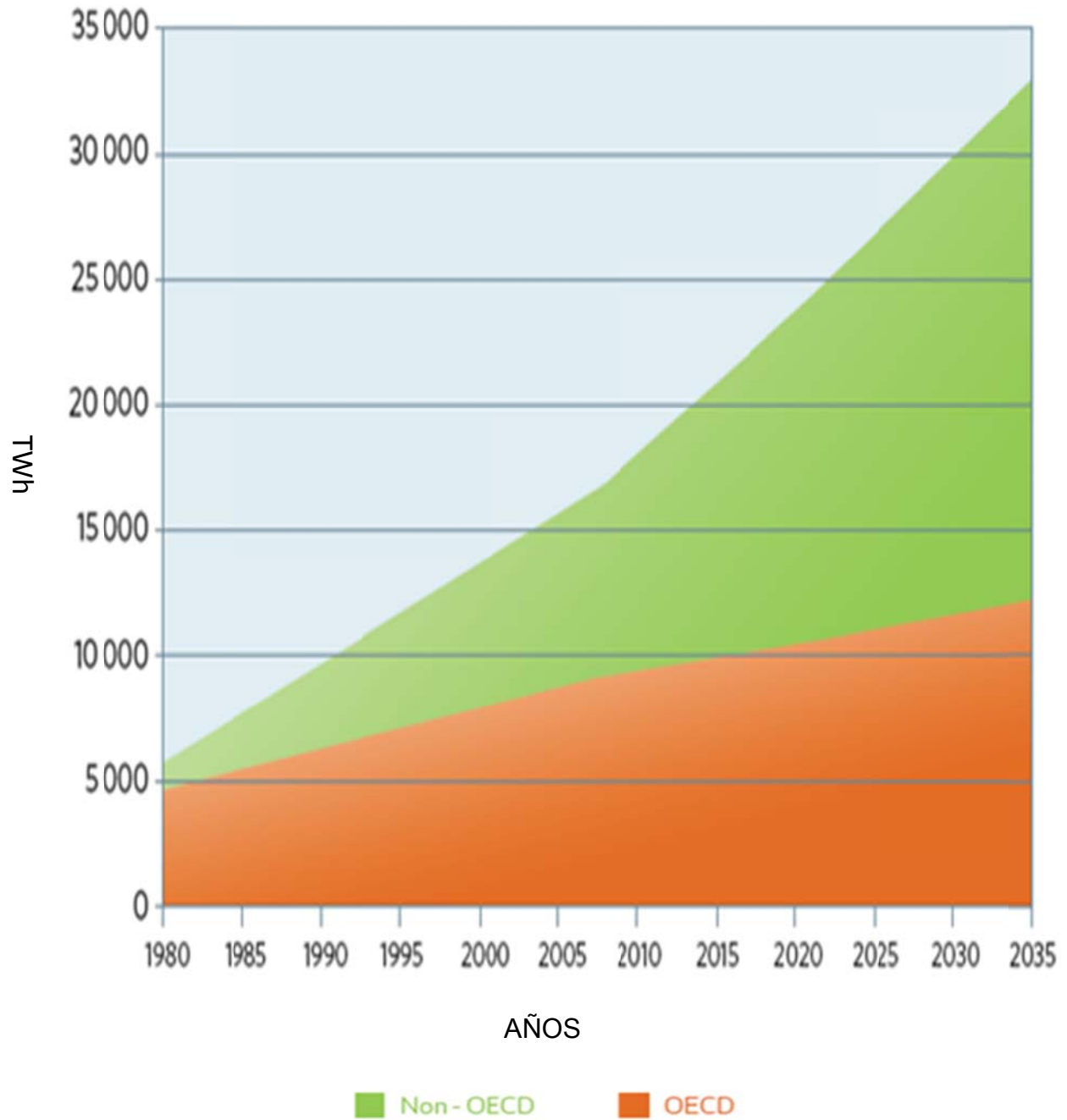
El sector de la energía del océano ofrece oportunidades significativas para contribuir a la producción de energía renovable de bajo carbono en todo el mundo. La utilización del mar contribuirá al futuro energético sostenible del mundo. La energía del océano abastecerá de energía eléctrica, agua potable y otros productos en precios competitivos, la creación de puestos de trabajo y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

El despliegue de la energía oceánica puede proporcionar beneficios significativos en términos de puestos de trabajo y las inversiones. En 2030, el despliegue de la energía del océano podría crear 160.000 puestos de trabajo directos.

Los ahorros globales de carbono obtenidos mediante el despliegue de la energía oceánica podrían ser considerables. En 2050 este nivel de despliegue de la energía del océano podría ahorrar hasta 5.2 mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

### 1.3.1 SUMINISTRO MUNDIAL DE ENERGÍA

Figura 1: consumo mundial de electricidad.

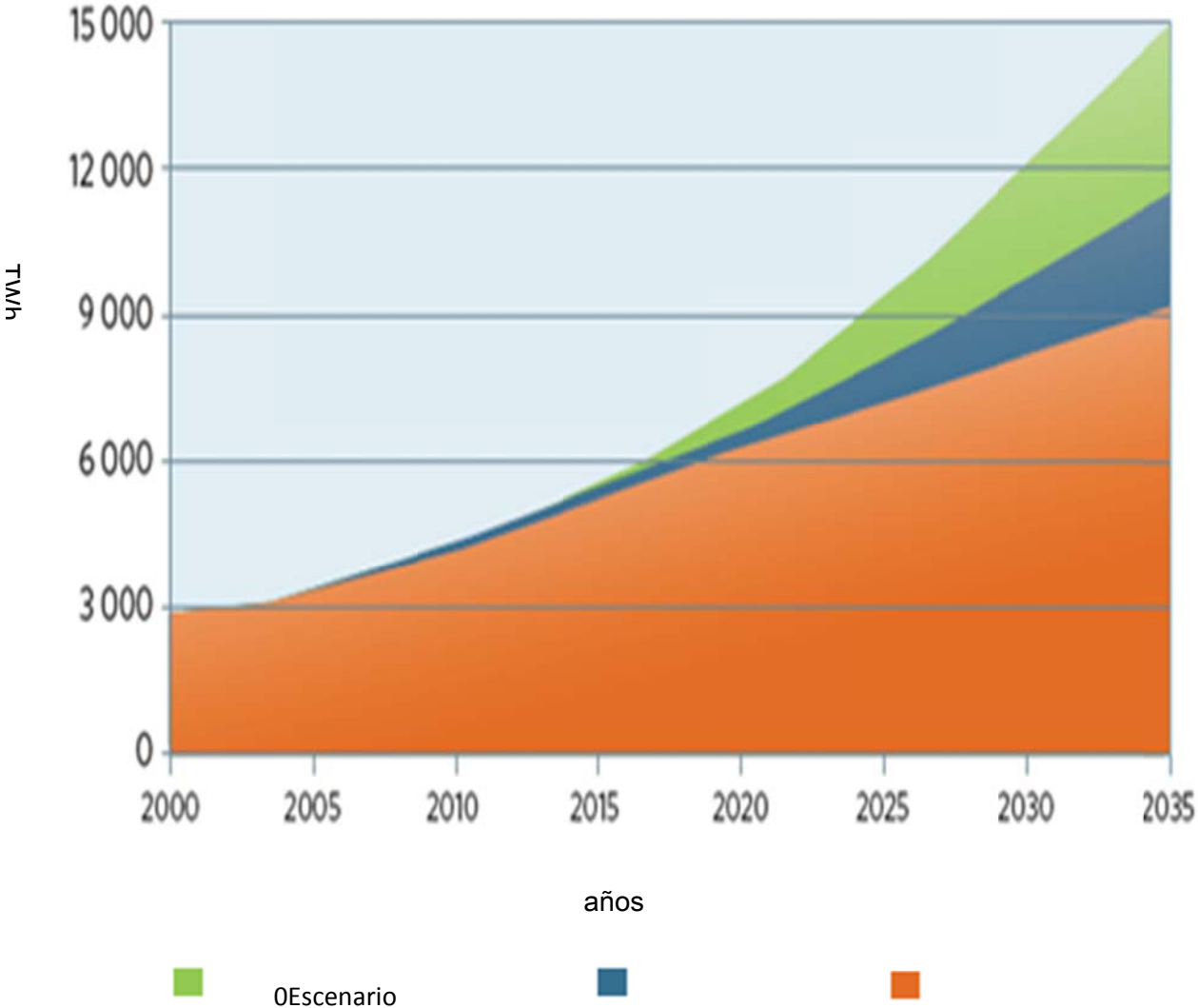


\* Fuente Wick y Schmitt, 1977 "Ocean Engineering"

El consumo mundial de energía primaria en 2008 fue de 143.851 TWh, el 81,2% de los cuales provenía de los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), el 12,8% de fuentes renovables y el 5,8% de la energía nuclear. La demanda para cada fuente de energía es cada vez mayor y, durante la última década, el carbón ha sido la fuente de más rápido crecimiento mundial de la energía, para cumplir con el 47% de la demanda de electricidad nueva. Debido a las mayores tasas de crecimiento de la actividad económica, la producción industrial, de la población y la urbanización, pertenecientes a la OCDE representan la mayor parte de la demanda. En el año 2000 el consumo de energía de China fue sólo la mitad de los Estados Unidos, pero para el año 2009 China había superado a los EE.UU. para convertirse en el más grande consumidor de energía. Proyecciones a futuro sugieren que estos dos países seguirán siendo los dos primeros a nivel mundial de consumo de energía dentro de 15 años, con China que representan un 22% en 2035. Debido al reconocimiento mundial de los efectos antropológicos sobre el cambio climático, una creciente cantidad de atención que se presta a la reducción de energía a partir de fuentes de energía renovables y tecnologías bajas en carbono. Otras motivaciones para este cambio son el aumento de los precios del petróleo, la seguridad energética, la competitividad industrial desarrollo económico local y otros impactos ambientales como la contaminación. El mercado de energías renovables ha experimentado tasas de crecimiento de 30%-40% en los últimos años, debido a la creación de políticas de mercado y reducción de costes. Por primera vez, en 2010, más dinero se invirtió en energías renovables que en la generación convencional. El consumo mundial de electricidad se ha proyectado un crecimiento de 2,5% anual entre 2008 y 2035 de 16.819 TWh a 32.922 TWh (Figura a), suponiendo que las actuales políticas energéticas nacionales se mantienen sin cambios. En 2008, más de 3.700 TWh de energía se producen en el mundo el uso de fuentes renovables de energía. Esto se espera que se triplique a 9.000 TWh en el año 2035, suponiendo que las actuales políticas permanecen sin cambios.

Sin embargo, la introducción de políticas, para reducir las emisiones de CO2 y mejorar la eficiencia del uso final de energía podría conducir más al aumento de 11.000 - 14.500 TWh (Figura b). La energía hidroeléctrica es actualmente la principal fuente de energía renovable, con otras formas tales como la eólica, la biomasa y los biocombustibles, la energía solar fotovoltaica, energía geotérmica y oceánica. La energía del océano puede experimentar el más rápido crecimiento de todas las formas de energía renovable durante este período.

Figura 2: Generación de fuentes renovables en el mundo.



\* Fuente Wick y Schmitt, 1977 "Ocean Engineering"

### 1.3.2 RECURSOS DE LA ENERGÍA OCÉANICA

Los océanos contienen el 97% de agua de la Tierra y el 71% de la superficie de la tierra es cubierto por agua de mar. Aproximadamente 3mil millones de personas viven a menos de 200 km de la costa y la migración es probable que se duplique para el año 2025. Por lo tanto las fuentes marinas de energía ofrecen un potencial listo para la entrega de la energía, agua potable y otros productos.

### 1.4.0 FORMAS DE ENERGÍA OCÉANICA.

Los recursos energéticos del océano se encuentran en:

- ❖ Las corrientes oceánicas.
- ❖ Mareas y sus corrientes.
- ❖ Energía térmica
- ❖ Gradientes de salinidad
- ❖ Olas

Estos recursos de los océanos son vastos, pero no están distribuidos uniformemente. Energía de las olas tiende a ser mayor en latitudes más altas, mientras que la energía térmica oceánica se distribuye sobre el ecuador. Gradientes de salinidad y amplitud de las mareas son de distribución irregular. El punto clave es que alguna forma de energía oceánica está disponible en todas las costas y, a menudo más de una forma podría abastecer las necesidades locales de energía.

Estas diferentes formas de energía oceánica pueden ser aprovechadas para producir electricidad, agua potable, el calor, hidrógeno o biocombustibles. El movimiento de volúmenes de agua del mar, La energía cinética se puede aprovechar, por lo general cerca de la costa y especialmente cuando hay islas y puertos.

### **ENERGÍA DE LAS MAREAS.**

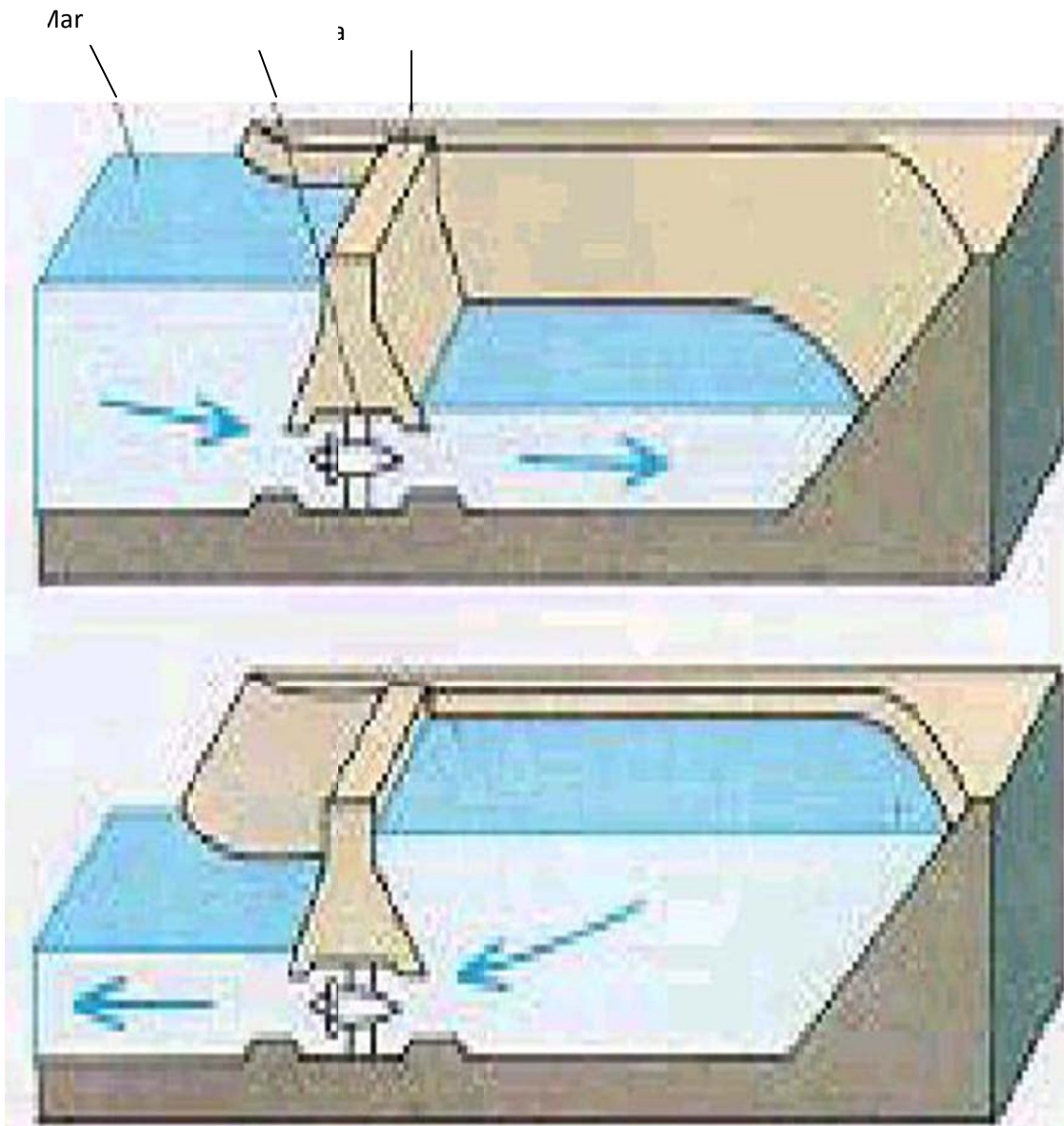
La técnica de explotación consiste en cerrar una bahía o un dique generando así una diferencia de nivel a ambos lados, encontramos energía potencial acumulada. En el dique se instalan turbinas con sus respectivos generadores y demás equipamiento, las cuales son puestas en marcha al pasar el agua hacia el embalse (flujo) y luego de este hacia el mar (reflujo).

Es decir, que funciona como una central hidroeléctrica convencional, solo que su origen tiene relación con la atracción de la luna y el sol, en vez del ciclo hidrológico.

Pero esta técnica no es tan sencilla de llevar a la práctica en un proyecto que resulta eficiente, implicando una inversión acorde al rendimiento que se logra. Los dos grandes aspectos que condicionan el avance de esta tecnología son el económico, se requieren grandes inversiones iniciales en obras, y el impacto que provoca sobre la fauna y flora del lugar de implantación de la central.

El primero en estudiar la posibilidad de aprovechar la energía de las mareas fue Belidor, en 1927, en el Tratado de Arquitectura Hidráulica. Belidor era profesor de la Escuela de Artillería de La Fère en Francia.

Figura 3 de energía de las mareas.



\*\* Fuente Wick y Schmitt, 1977 "Ocean Engineering"



## 1.4.2 ENERGÍA DE LAS CORRIENTES MARINAS.

La energía también puede ser generada a través de corrientes marinas, usando turbinas sumergidas con aspas rotativas y un generador. Las turbinas submarinas trabajan con el mismo principio de funcionamiento que las turbinas eólicas, transformando la energía cinética de los fluidos transfiriéndola a energía rotacional y luego a energía eléctrica. Las velocidades de las corrientes son más lentas que las del viento, sin embargo debido a la densidad del agua (1000 veces la del aire) las turbinas acuáticas son más pequeñas que las eólicas con la misma capacidad instalada.

La potencia que es posible extraer de las corrientes marinas depende de la velocidad del fluido, del área y eficiencia de la turbina acuática, y puede ser calculada como:

$$\text{POWER} = 1/2 \rho A v^3 C_p$$

Donde:

$\rho$  = es la densidad del mar (1025 kg/m<sup>3</sup>)

A = es el área de las aspas del rotor (m<sup>2</sup>)

v = es la velocidad marina (m/s)

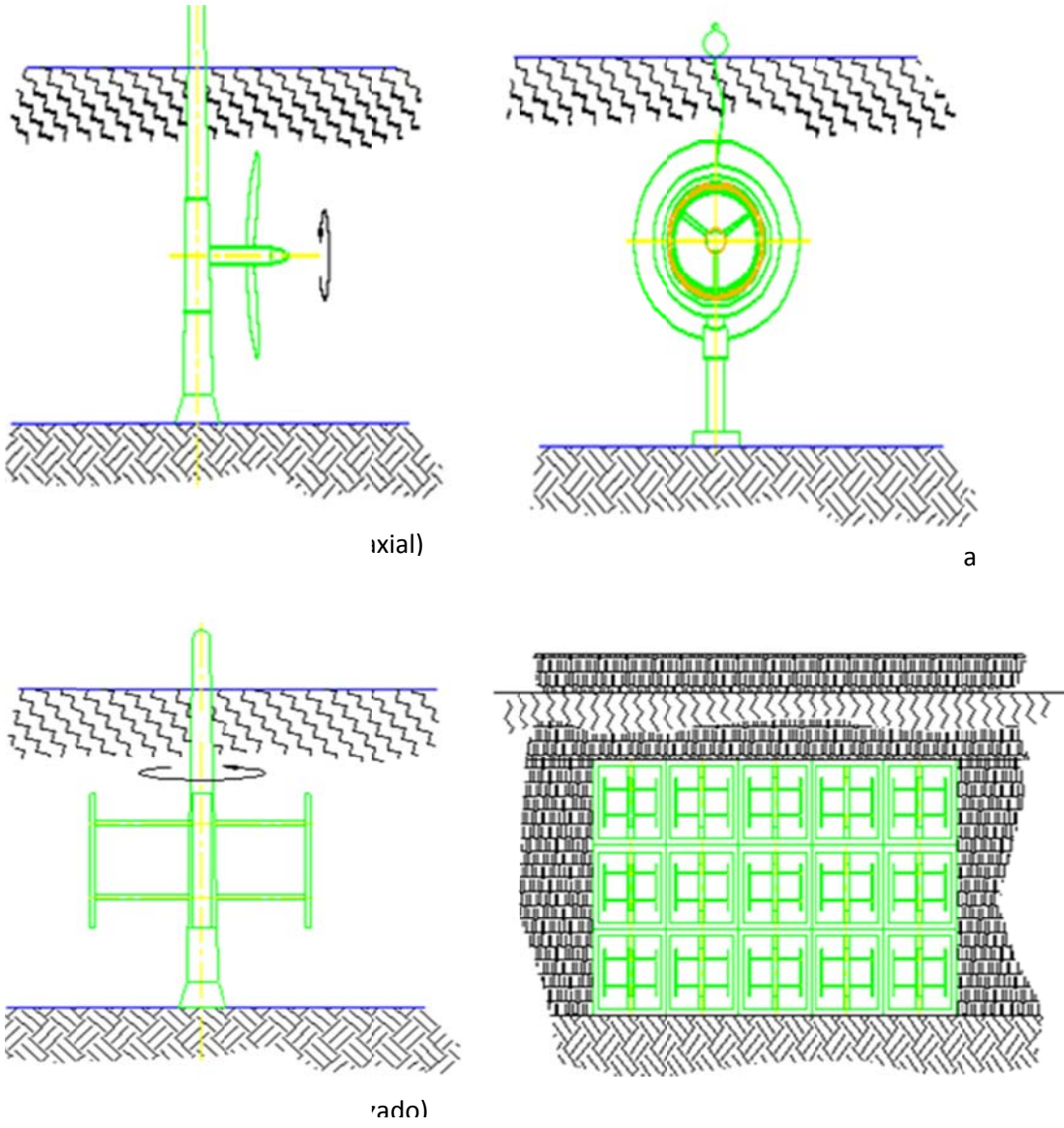
C<sub>p</sub> = es el coeficiente de la turbina, que mide la eficiencia

La energía mediante las corrientes se encuentra en desarrollo por medio de un número pequeño de prototipos. Hay dos variantes en la investigación de estas turbinas, incluyendo turbinas usando concentración y “convertidor de mareas” (tidal fences).

**Turbinas de eje horizontal** Similar al concepto de turbinas de eje horizontal de generación eólica.

**Turbinas de eje vertical** El concepto de instalación es colocar un gran número de turbinas de eje vertical en un “convertidor de marea”.

Figura 4 turbinas para el aprovechamiento de corrientes marinas.



### 1.4.3 GRADIENTE DE SALINIDAD

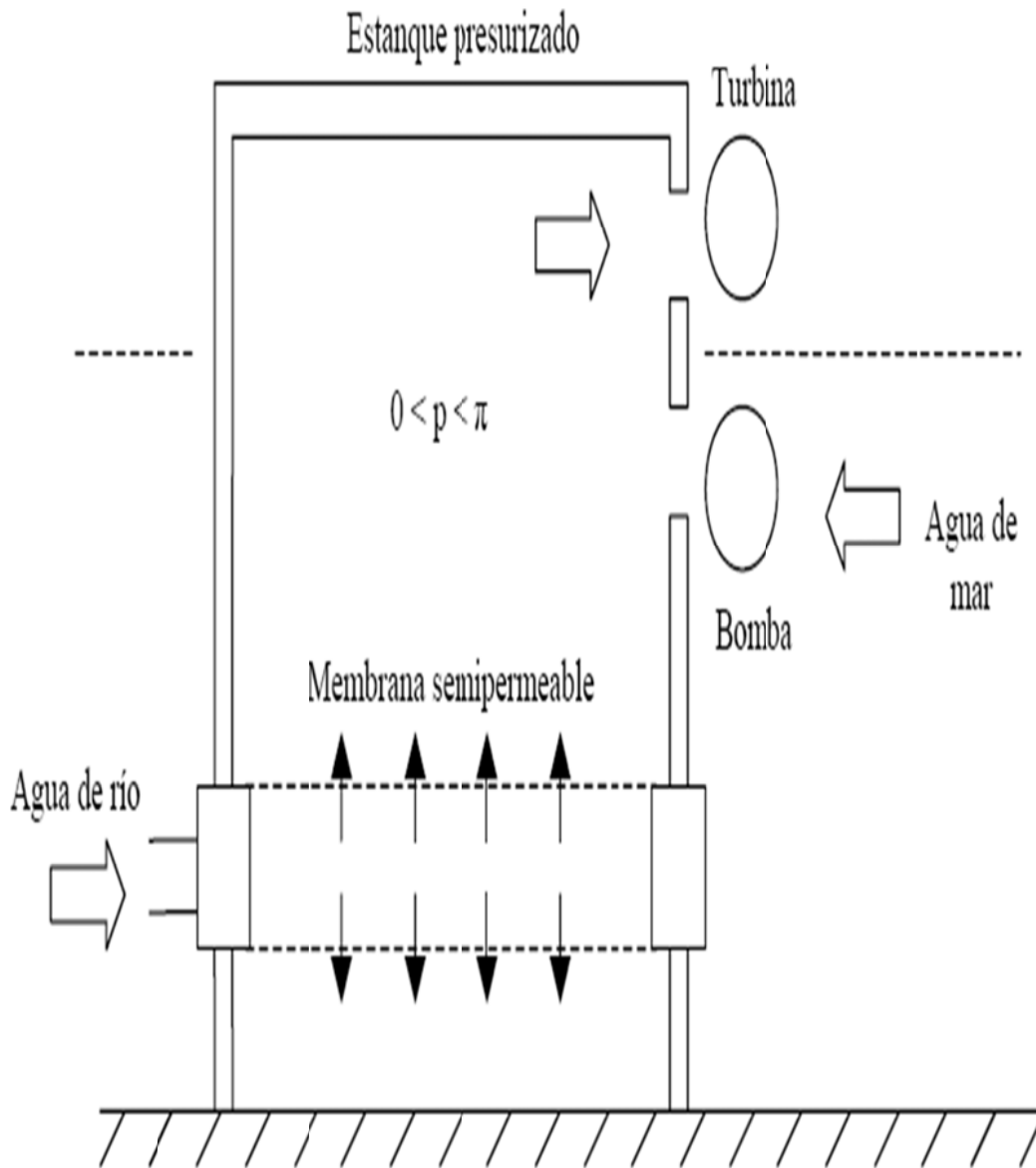
**Sistema por presión osmótica retardada.** Este sistema utiliza el aumento de presión en el interior de un estanque, por efecto de la diferencia de presión osmótica en la interface de dos aguas de diferente concentración de sal.

Consiste en un estanque en cuyo interior se bombea agua de mar a una presión inferior a la diferencia de presión osmótica entre las aguas. El agua de río pasará al interior del estanque a través de una membrana semipermeable, aumentando la presión interna. Este aumento de presión se utilizará para obtener energía eléctrica, mediante el accionamiento de una turbina acoplada a un generador. La membrana tiene la característica de ser permeable al agua e impermeable a las moléculas de sal contenidas en el agua; por esta razón, el agua dulce atravesará la membrana hacia el interior del estanque, pero, el agua salina del estanque no podrá salir a través de la membrana.

El sistema podría funcionar sin necesidad de presurizar el estanque mediante una bomba, pero se ha demostrado (Wick, 1978) que el máximo rendimiento del sistema se obtiene cuando el tanque se presuriza a la mitad de la diferencia de presión osmótica correspondiente.

La potencia que es posible extraer por este mecanismo dependerá de la diferencia de presión osmótica entre el agua dulce y el agua salada, así como del caudal de agua que atraviese la membrana como se muestra en la figura 5.

Figura 5 de sistema por presión osmótica retardada.



\* Fuente Wick y Schmitt, 1977 "Ocean Engineering"

#### 1.4.4 ENERGÍA POR OLAS.

Su energía se concentra en los bordes continentales, los que suman un total de 336,000 km de longitud.

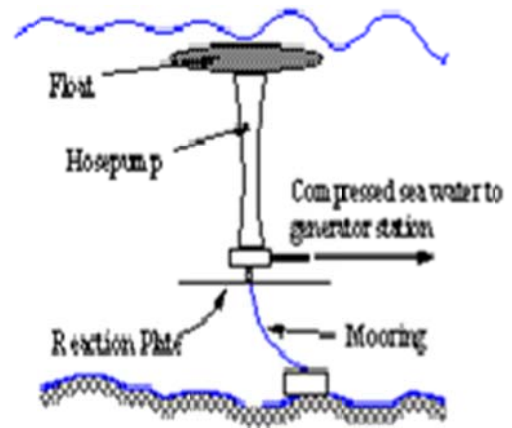
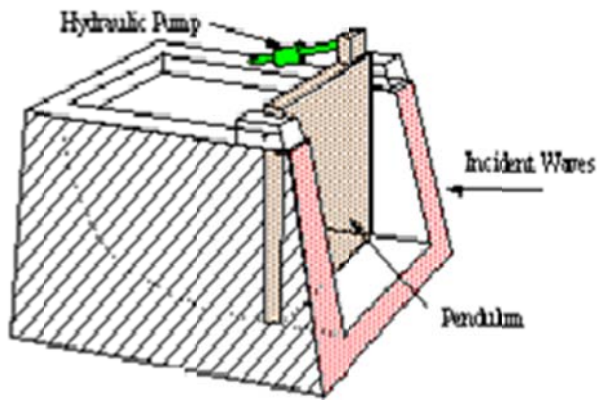
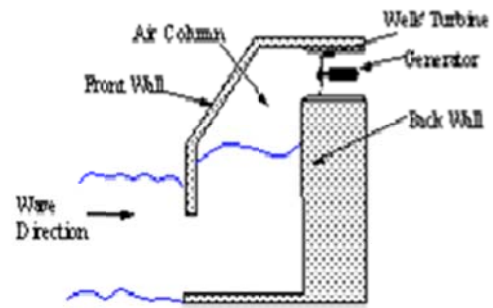
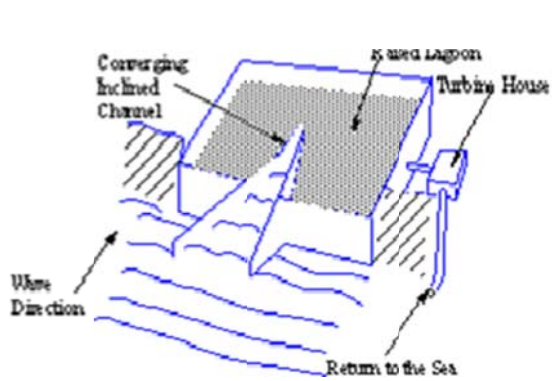
Uno de los mayores inconvenientes en la utilización de la energía de las olas, es su irregularidad e inconstancia. Los dispositivos deben ser, por un lado, livianos para aprovechar las olas pequeñas, pero resistentes para soportar los choques de las grandes olas. La densidad de energía de las olas es mayor que la solar “pura”.

Las olas suponen un recurso potencial de alrededor de 2 TW de potencia.

Los sistemas utilizados para aprovechar la energía de las olas pueden clasificarse en dos: fijos a la plataforma continental, y flotantes. Básicamente, los mecanismos funcionan haciendo que la variación de altura del agua mueva un pistón que a su vez mueve un generador eléctrico. O bien, que el movimiento de las olas produzca el desplazamiento del aire hacia el interior de un cilindro donde se ubica una turbina. El aire al salir mueve la turbina. Al retirarse la ola se genera un efecto de vacío, el aire ingresa nuevamente al cilindro haciendo girar la turbina.

Las tecnologías perfiladas en 1998 basadas en la Oscilación o Columnas Asistidas de agua (OWC), boyas y pontones (The Hosepump), tapas y canales afilados (The Pendulor y TAPCHAN) todavía existen o siguen siendo desarrolladas.

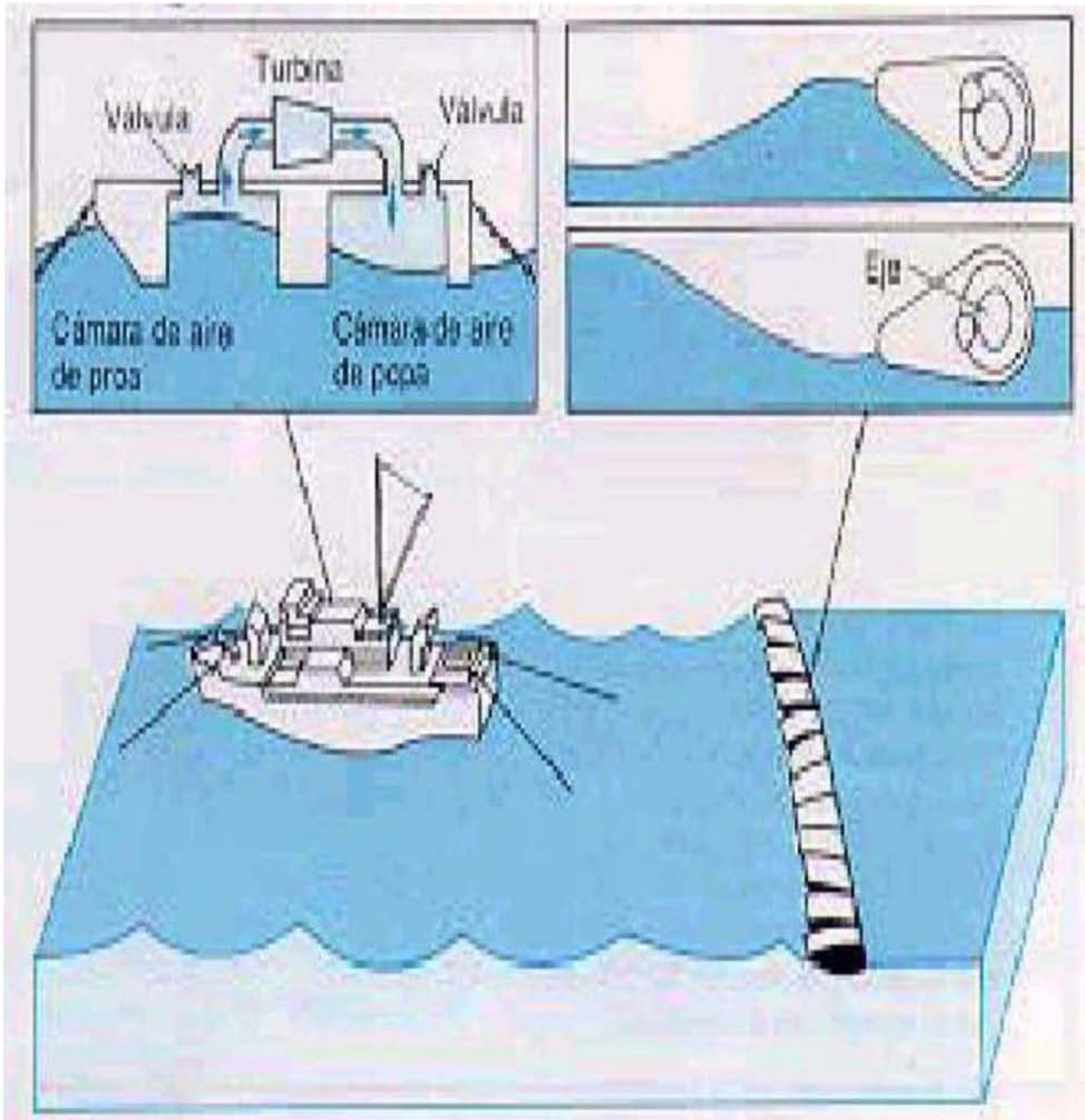
Figura 6: principales tipos de dispositivos para la energía de las olas.



jante

icy

Figura 7: generación de energía a través de las olas.



#### 1.4.5 ENERGÍA TÉRMICA OCÉANICA.

Desde que Georges Claude llevó a cabo su trabajo pionero sobre Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC) hace casi 80 años, las generaciones de ingenieros han soñado con tocar este recurso renovable enorme. Un trabajo considerable se inició después de las crisis del petróleo de la década de 1970, pero estos esfuerzos se desvanecieron dentro de los siguientes dos décadas en las condiciones políticas y económicas menos favorables. Mientras tanto, los defensores de OTEC y los investigadores dieron cuenta de que el gradiente termal de los océanos podría ser utilizado no sólo para producir electricidad, sino también en las tecnologías de derivados como la desalinización, la refrigeración y la acuicultura.

Una buena sinopsis titulada Economía OTEC fue publicado en 1992 por Luis Vega, que había sido fundamental en la ejecución de algunos de los más importantes proyectos de demostración sobre el terreno OTEC que se ha realizado.

##### Oportunidades a largo plazo

El tamaño total sostenible del recurso está limitado por la velocidad de formación de agua de mar fría profunda, aunque las estimaciones demasiado altas sobre la base de flujos solares se sugiere a menudo. Órdenes de magnitud entre 3 y 10 TW parecen probables, es decir, una gama aproximadamente el doble que van desde el consumo total de electricidad de hoy a casi la mitad de la energía primaria que se necesita . El límite inferior refleja una posible degradación del gradiente térmico local en escenarios OTEC muy intensas.

Un desarrollo sustancial de OTEC requeriría sistemas flotantes en lugar de las plantas terrestres. En cualquier caso, los lugares tropicales, con batimetrías empinadas siguen siendo los mejores candidatos. Estos incluyen un sin número de pequeñas islas, así como algunas grandes, a veces muy pobladas naciones insulares (Indonesia, Filipinas, Nueva Guinea, Taiwán). Brasil cuenta con extensas



costas con gradientes térmicos oceánicos excelentes al igual que el golfo de México.

La diferencia entre la temperatura de la superficie del agua y la de las capas más profundas, a veces hasta 20° C más fría.

Una central térmica usa una fuente de calor para hacer hervir el agua. La fuente de calor puede provenir del carbón, de un reactor nuclear o de una torre de concentración solar (CHP). El vapor de agua mueve un generador que produce la electricidad. Esto es lo que se llama ciclo de Rankine.

OTEC usa el gradiente de temperatura del océano para producir electricidad. Se basa en el ciclo de Rankine orgánico, una variación del anterior donde se sustituye el agua por un fluido con un punto de ebullición muy bajo, por ejemplo, el amoníaco. Para enfriar el líquido y reiniciar el ciclo, se usa el agua más fría del océano. ¿En qué consiste la fuente de calor? El sol calienta la superficie del océano y este calor es aprovechado por OTEC.

Evidentemente, la eficiencia de un sistema OTEC queda muy por debajo si se compara con otras tecnologías que utilizan vapor de agua, por lo que, hasta ahora, no resultaba económicamente viable. Pero ahora, las plantas OTEC presentan nuevas e interesantes ventajas:

Suministro de agua potable. Teóricamente, una planta OTEC puede generar hasta 2MW de electricidad limpia, además de producir 4.300 m<sup>3</sup> de agua desalinizada del océano cada día. Refrigeración de la que se podrán aprovechar las áreas cercanas a la planta. El agua fría puede utilizarse para refrigerar edificios o el suelo, lo que permitiría el cultivo de variedades propias de climas más frescos.

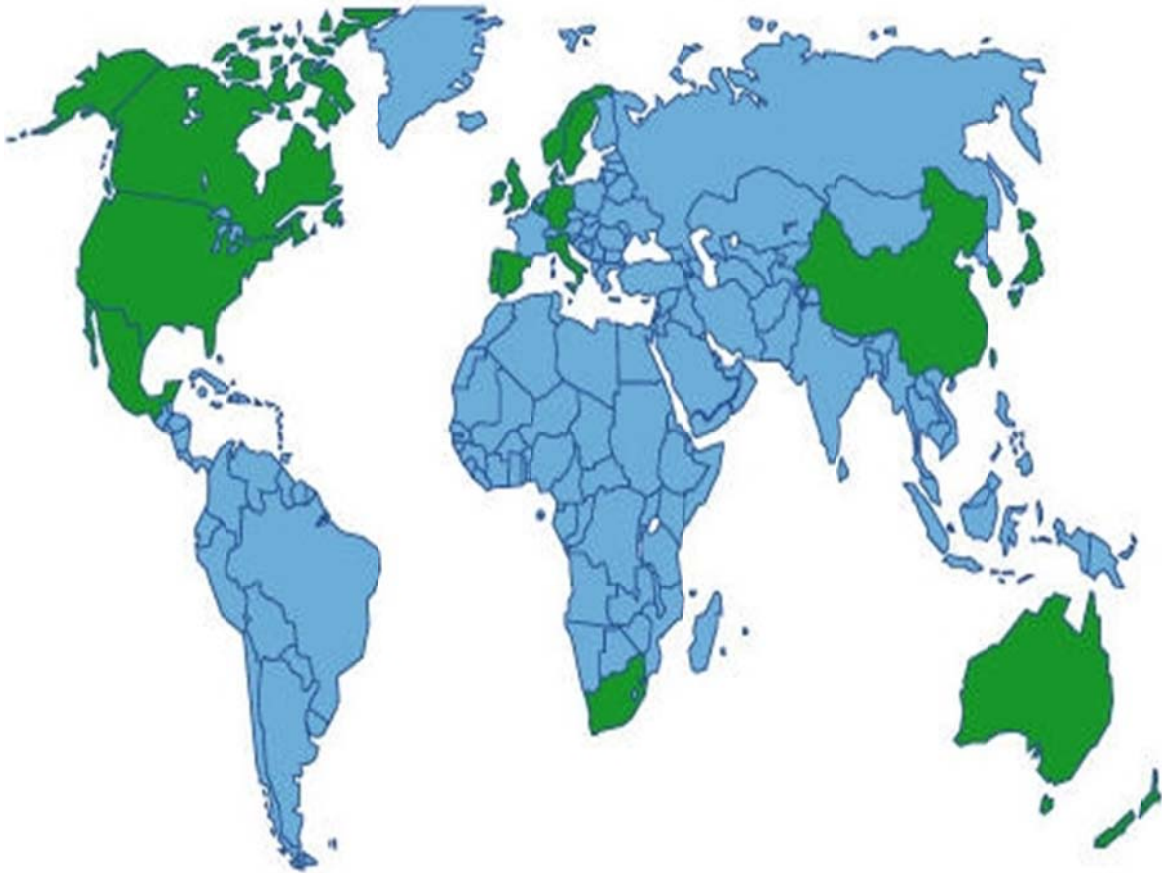
Figura 8: De una planta OTEC



### 1.5.0 PAISES MIEMBROS DE LA OES.

Cada miembro del Comité Ejecutivo ofrece una visión general de las actividades nacionales que se centran en la energía del océano, investigación, desarrollo y demostración de tecnología durante el año.

Figura 9: países miembros de OES



*\* Los países miembros de la OES están marcados en verde*

## 1.6.0 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA DE LOS OCÉANOS.

Las ventajas que se pueden mencionar en relación al aprovechamiento de la energía de las mareas son:

- ❖ Auto renovable
- ❖ No contaminante
- ❖ Silenciosa
- ❖ Bajo costo de materia prima
- ❖ No concentra población
- ❖ Disponible en cualquier época del año y clima

En cuanto a las desventajas encontramos:

- ❖ Impacto visual sobre el paisaje
- ❖ Alto costo del traslado de energía
- ❖ Limitada (al ciclo de las mareas)
- ❖ Efecto negativo sobre la flora y fauna
- ❖ Depende de muchos factores
- ❖ Alto costo inicial

# Capítulo II: Los gradientes térmicos del mar. El caso de México.

## CAPÍTULO II: LOS GRADIENTES TÉRMICOS DEL MAR.EL CASO DE MÉXICO.

### 2.0 LA TEMPERATURA EN EL MAR.

El principal aporte calorífico que tiene el agua del mar está representado por las radiaciones energéticas que le llegan del Sol. Su calor específico tiene un valor elevado en comparación con el calor específico de las demás sustancias existentes en la superficie del planeta; esto confiere al mar una extraordinaria capacidad para almacenar calor y por esta propiedad puede actuar como un gigantesco moderador del clima.

Se entiende por calor específico, en general, la cantidad de calor necesario para aumentar en un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua.

Esta gran capacidad de los océanos para conservar el calor permite que la temperatura sea más estable en el mar que en los continentes, siendo en aquél menos marcados sus cambios a través de las cuatro estaciones del año.

Otras fuentes de calor para el océano son: la energía solar reflejada por el cielo, el calor original del interior de la Tierra, el que se desprende de la desintegración radiactiva, y la energía derivada de los procesos químicos y biológicos que se realizan en el seno del océano.

Las radiaciones solares que llegan a la superficie del mar penetran en su masa, alcanzando generalmente una profundidad promedio de cien metros, pero que puede extenderse hasta los mil metros. La penetración de estas radiaciones depende principalmente de la turbiedad, es decir, de la cantidad de materia sólida que se encuentra en suspensión.

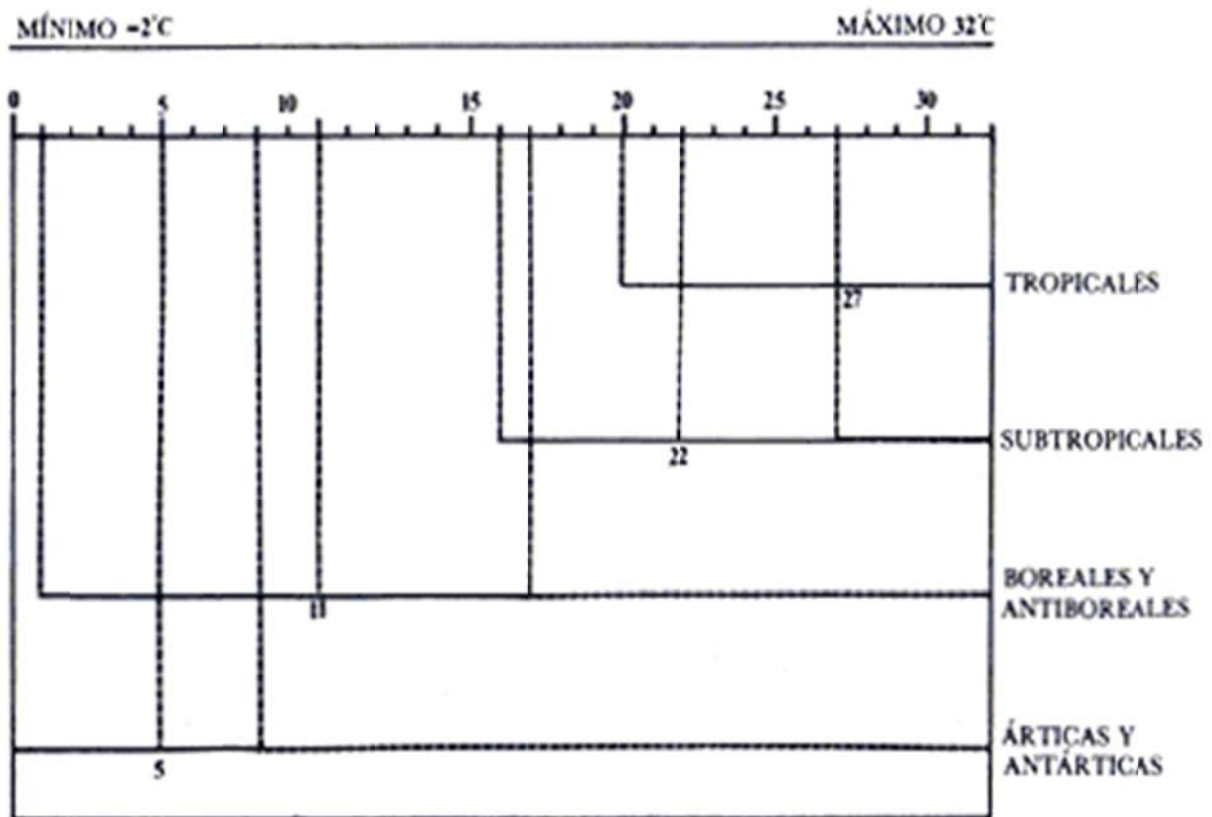
Conforme la profundidad aumenta van penetrando menos radiaciones, por lo que la temperatura disminuye. Por lo anterior, en la superficie del mar existe una capa de agua relativamente caliente, con una temperatura uniforme; esa capa puede extenderse de los 20 a los 200 metros de profundidad, dependiendo de las condiciones locales. Abajo de ella existe una zona limítrofe en donde se presenta un rápido descenso de la temperatura, llamada *termoclina*, que divide a estas aguas superficiales, menos densas y menos salinas, de las aguas de las profundidades, más frías, densas y salinas.

En los océanos, las termoclinas no son bruscas ni están tan bien diferenciadas como ocurre en el agua dulce. En las aguas tropicales, la termoclina puede ocupar una profundidad entre 100 y 200 metros y ser relativamente estable durante el año. En las aguas templadas de las latitudes medias se localizan a un poco más de profundidad, siendo un fenómeno estacional que ocurre solamente durante la primavera y verano, y tiende a desaparecer en los mares polares en los que la temperatura de toda la columna de agua es baja.

En las latitudes ecuatoriales si la temperatura del agua es de 26°C en la superficie, suele ser sólo de 15°C en la termoclina que se encuentra a 150 metros de profundidad, desde allí disminuye la temperatura lenta pero constantemente, hasta llegar al frío del abismo.

En general, cuando en los océanos se alcanzan profundidades de 1500 metros o mayores, la temperatura del agua puede ser menor de 4°C, en cualquier parte del mundo, independientemente de la temperatura superficial. En las profundidades de los abismos, a 11 kilómetros, hay una temperatura menor a 2°C, escasamente arriba del punto de congelación del agua salada, que para una salinidad de 25% es de menos 1.33°C.

Figura 10: Distribución de la temperatura en aguas marinas superficiales.



A veces, la temperatura del fondo del océano baja más allá del punto de congelación, pero esa condición nunca dura el tiempo suficiente para que el agua del fondo del mar se convierta en hielo, a esto colaboran los efectos de la salinidad, presión y circulación del agua.

Tomando en cuenta la temperatura de todos los océanos y las diferentes profundidades, se ha fijado la temperatura media del agua marina en 4°C con valores que van desde menos 2°C hasta 32°C.

En la superficie de las aguas marinas tropicales, la temperatura mínima es de 20°C, la máxima de 30°C y la media de 27°C; en las subtropicales, 16°C como mínima, 27°C como máxima y 22°C como media; en las aguas boreal y



antiboreal, la mínima es de 1°C, la máxima de 17°C y la media de 11°C; en el Ártico y Antártico, la mínima va de menos 3 a 1°C, la máxima es de 9°C y la media de menos 1 a 5°C.

Se presentan variaciones anuales de temperatura en las capas superficiales del océano, que dependen de la absorción del calor recibido del exterior, registrándose un máximo al comienzo del otoño y un mínimo al inicio de la primavera. También se presentan cambios debido a la profundidad de las aguas, observándose que las modificaciones son mayores en la superficie y conforme aumenta la profundidad las variaciones se atenúan progresivamente hasta no registrar ninguna variación anual. Esto se empieza a observar a los 300 metros, aunque en ciertas regiones, puede ser a los 100 metros.

Las variaciones anuales en un mismo lugar son pequeñas, del orden de los 2°C en el ecuador y en los polos; las mayores, de unos 18°C, se han observado en el Atlántico norte y en el Pacífico norte.

También se ha presentado variaciones de la temperatura del agua del mar a través de largos periodos de tiempos en determinadas regiones del océano.

## 2.1 Temperatura superficial del mar ( $^{\circ}$ C), 27 de abril 2012

Figura 11: temperatura superficial del mar en el atlántico norte.

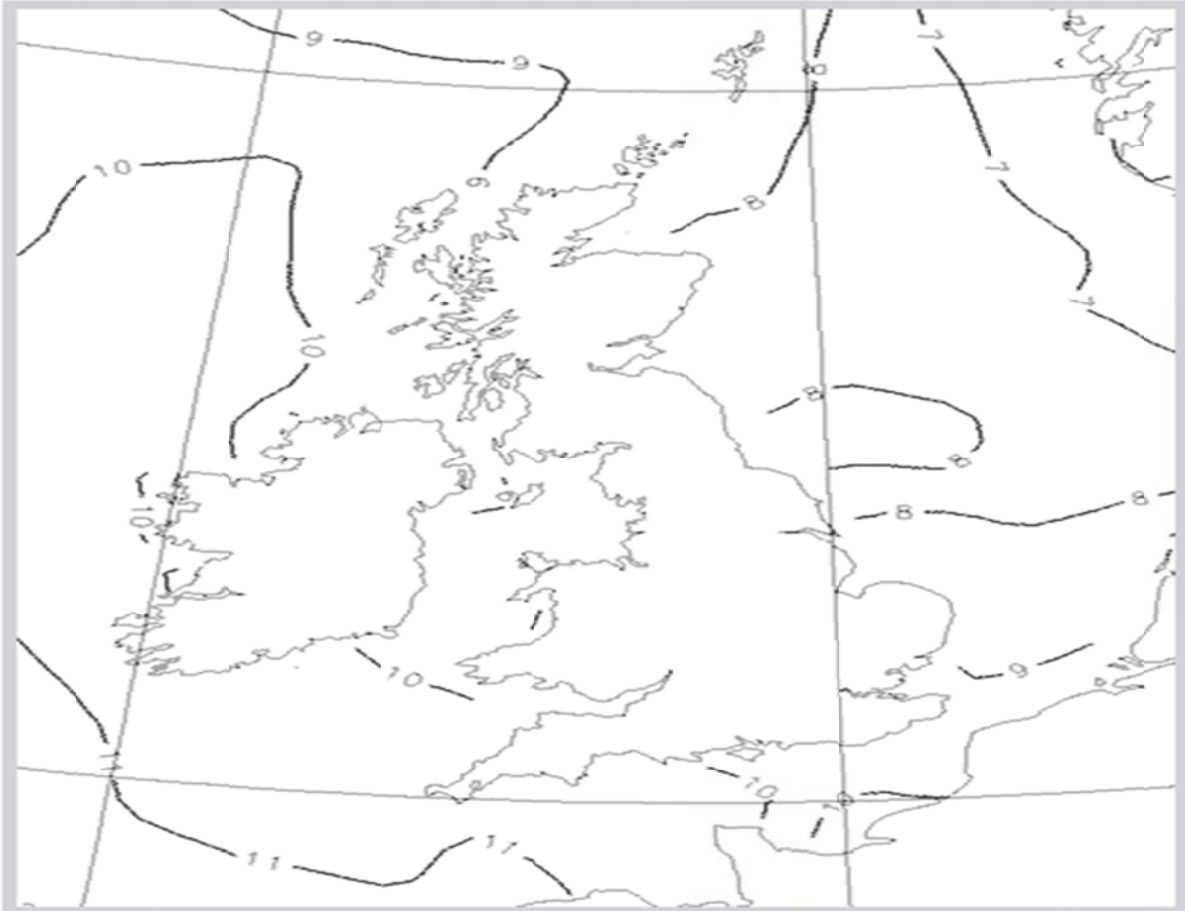


Figura 12: temperatura superficial del mar.

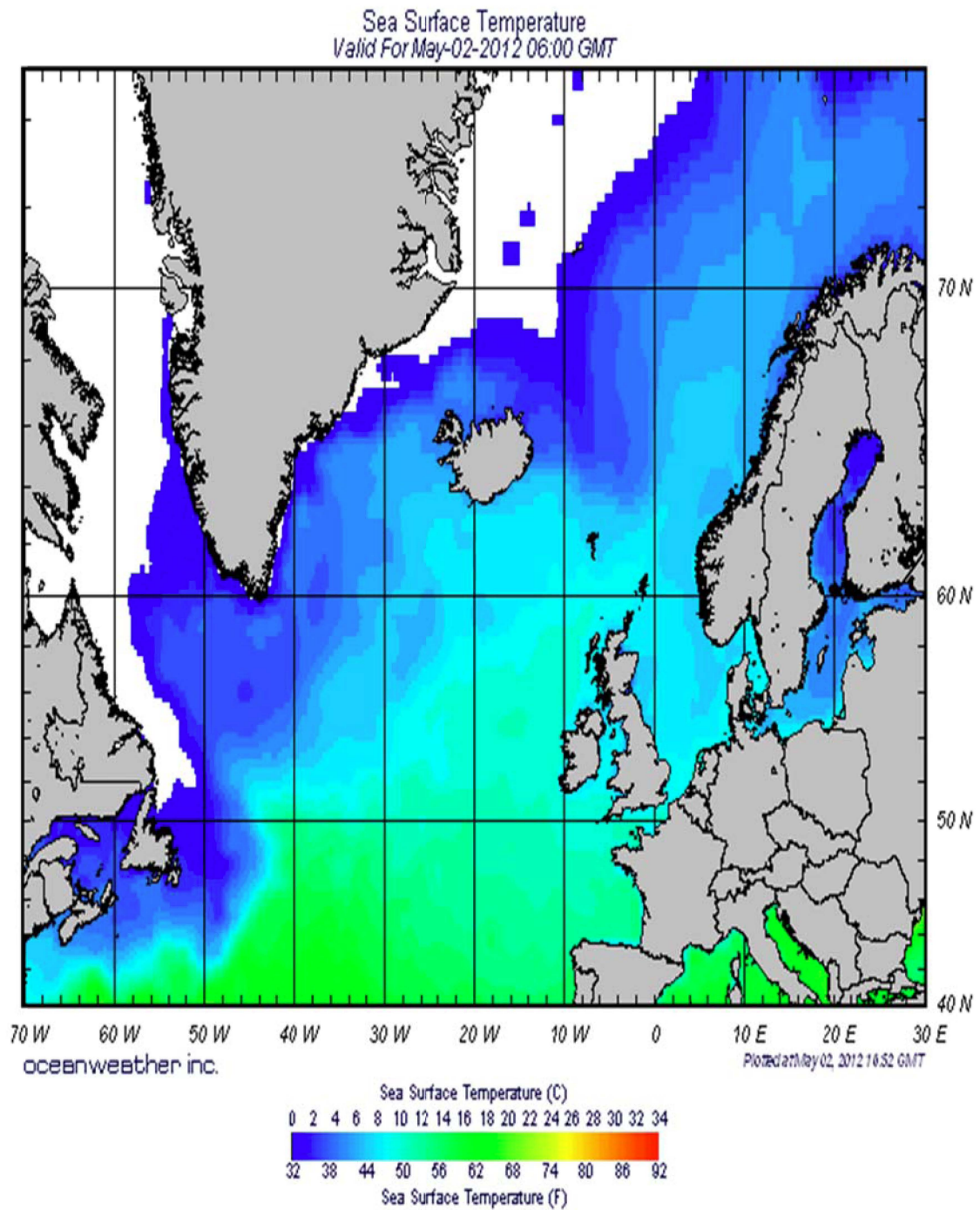


Figura 13: temperatura superficial del mar

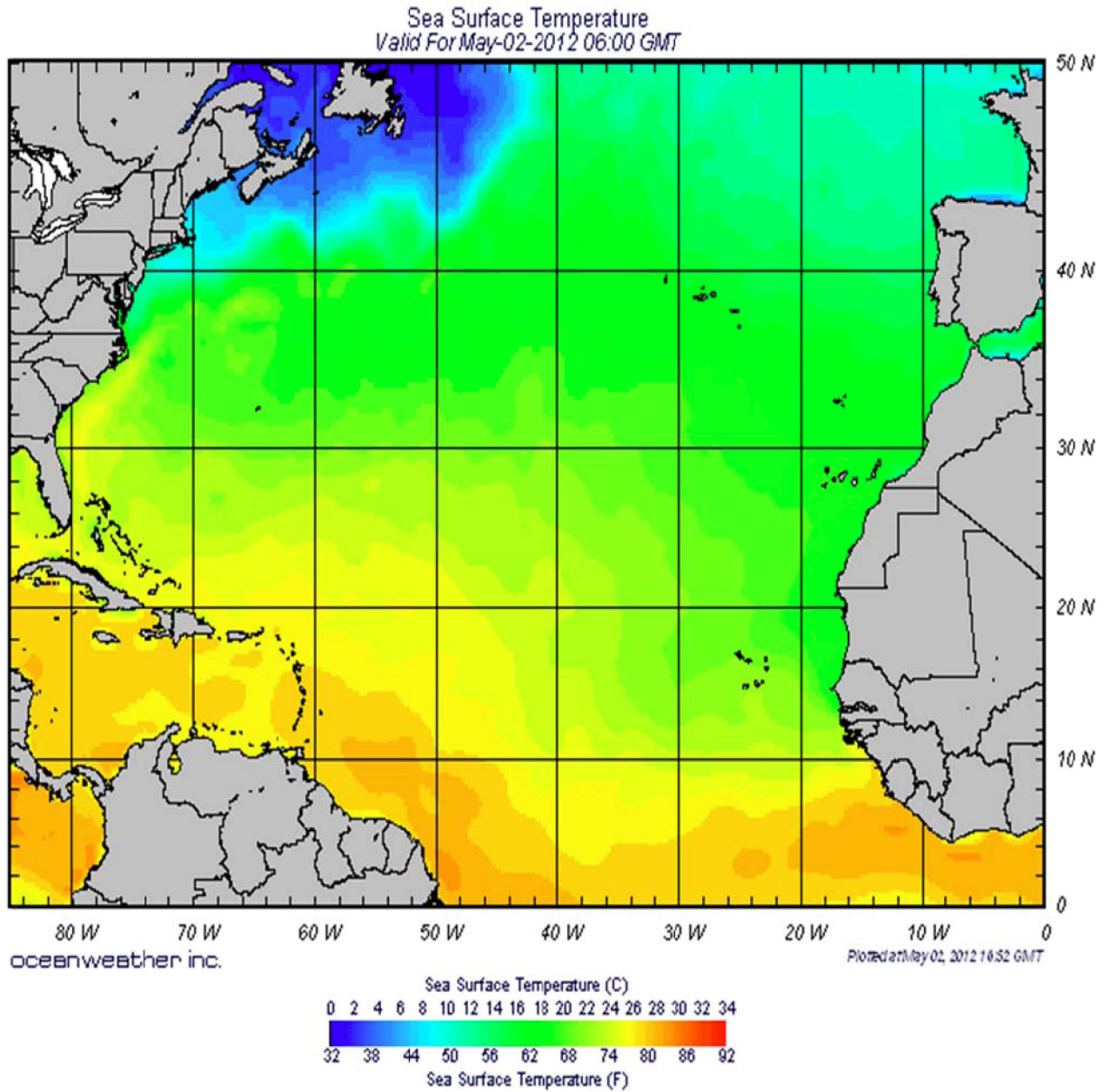
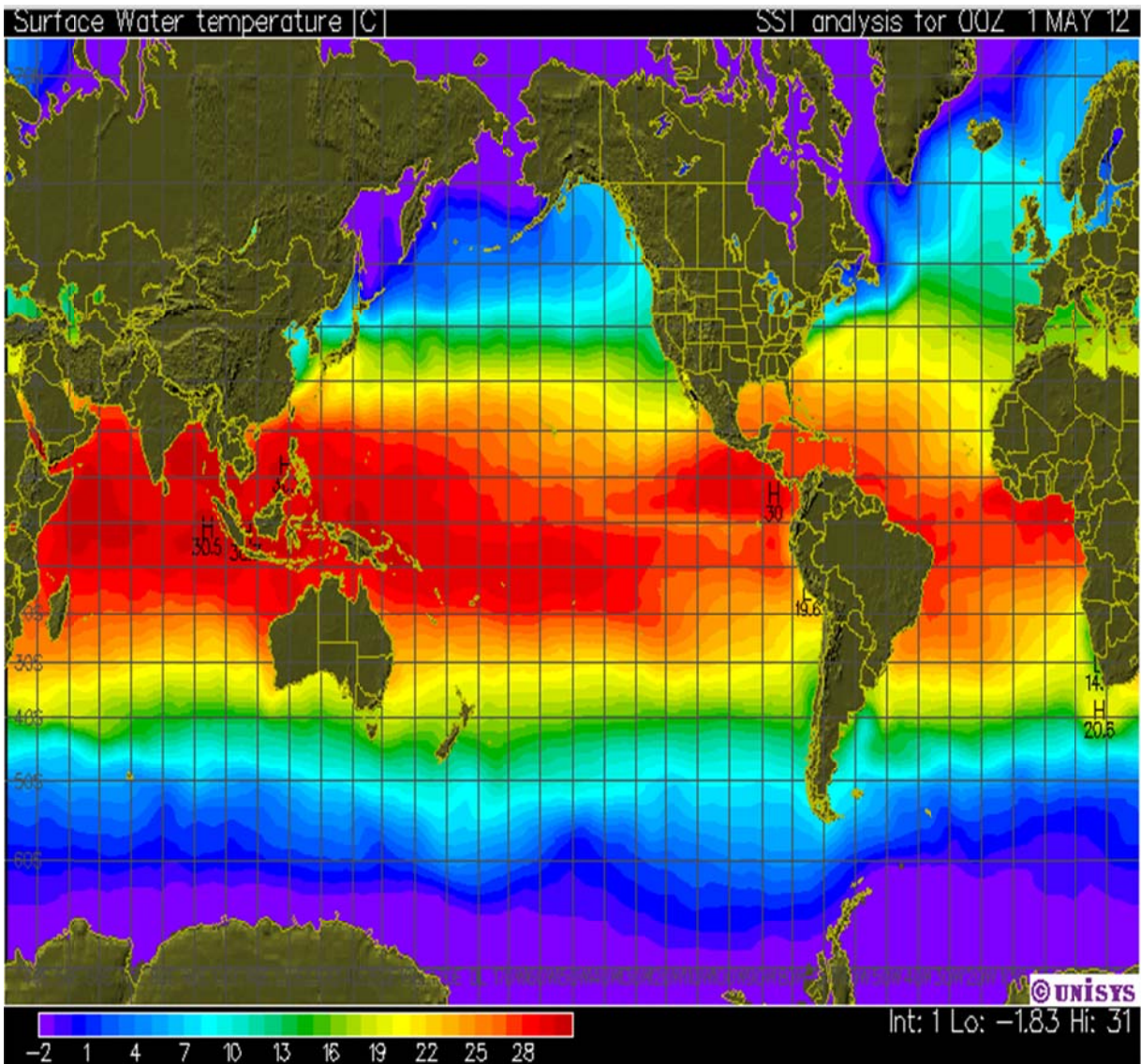


Figura 14: Temperaturas superficiales del mar en todo el mundo.



## 2.2 ENERGÍA TÉRMICA OCÉANICA.

La energía térmica oceánica está basada en la explotación de la diferencia de temperaturas en los mares y océanos. En lo que se denomina gradiente térmico oceánico, la diferencia de temperatura entre la superficie del mar y las aguas profundas.

Con la energía térmica oceánica aprovecha la diferencia de temperatura entre la superficie del mar y zonas mas profundas para producir energía. Esa diferencia de temperatura se denomina gradiente térmico oceánico.

Para el aprovechamiento de la energía térmica oceánica se requiere que ese gradiente térmico sea de al menos 20°C.

Por este motivo las regiones ecuatoriales y subtropicales son las zonas mas adecuadas para este tipo de energía. Si se compara la energía térmica oceánica con el resto de las renovables sus investigaciones y sus proyectos todavía se encuentran en una fase preliminar, pero su potencial es muy alto.

Un dato a tener en cuenta. En un año la energía solar absorbida por mares y océanos es de unas 4 mil veces la energía que actualmente consume la humanidad.

El sol es la fuente de energía principal. El 66% de la radiación solar es absorbida por la superficie terrestre. Dos terceras partes de la superficie de nuestro planeta están cubiertas de agua. O sea que los mares y océanos almacenan una gran cantidad de energía.

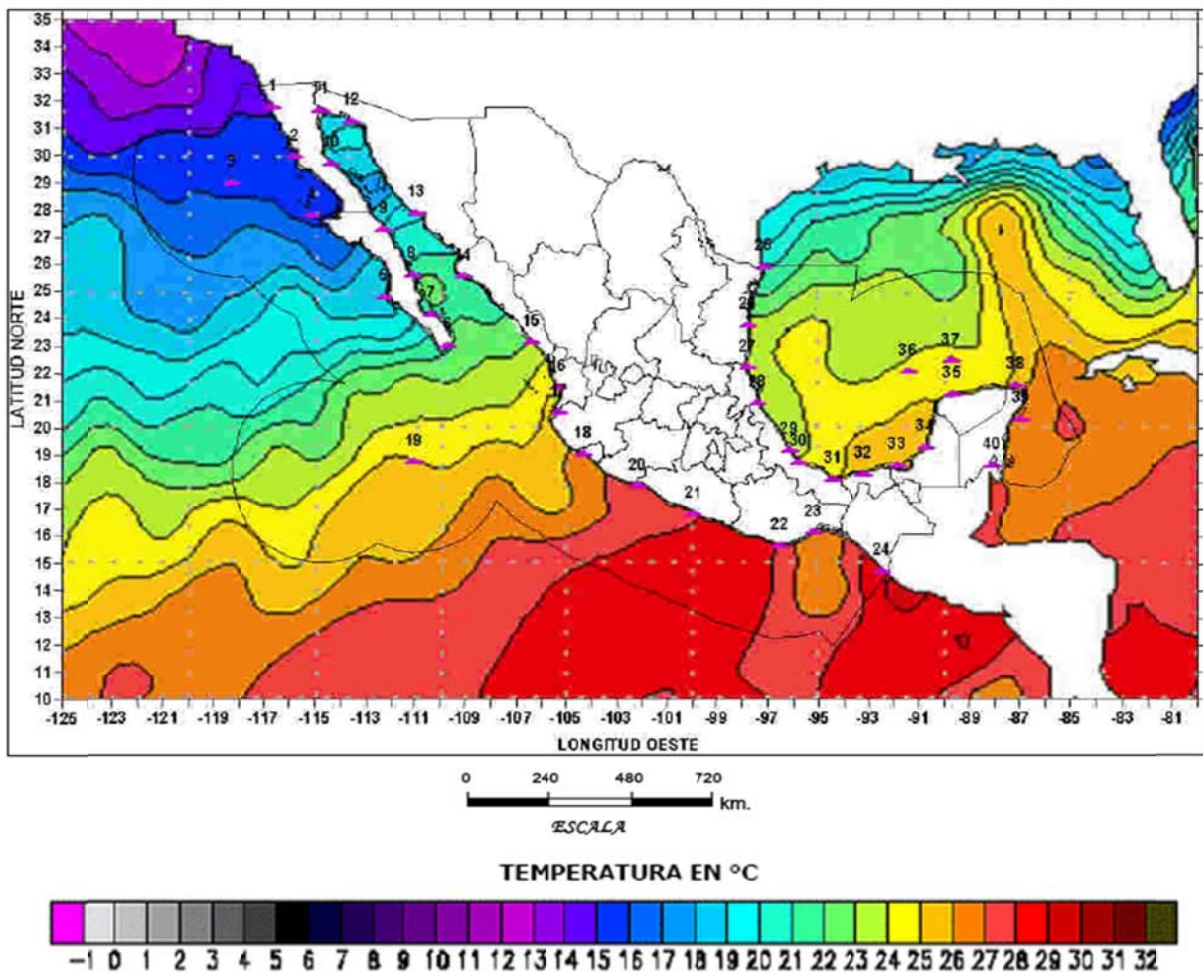
En el agua de los océanos la radiación solar penetra hasta una profundidad promedio de cien metros, pudiendo llegar en determinadas zonas del planeta a los mil metros. El gradiente térmico oceánico es la diferencia de temperatura existente entre la superficie y las profundidades de los océanos.

Este **gradiente térmico de los océanos** puede ser utilizado para generar energía. Se puede obtener electricidad mediante una maquina térmica que utiliza el agua caliente de la superficie como fuente de calor y el agua mas fría de las profundidades como refrigerante. Por cuestiones de rendimiento ese gradiente

térmico debe ser de al menos 20 grados, con lo que las zonas ecuatoriales y subtropicales son las adecuadas para este tipo de instalaciones.

## 2.3 TEMPERATURA DE LOS MARES DE MÉXICO

Figura 15: temperatura de los mares de México



## 2.4 CONDICIONES ACTUALES

En el Golfo de California el calentamiento mayor, se localiza en el sur desde Puerto Escondido y entrada a la cuenca con 22° C; en el Pacífico, sobre el extremo meridional de la costa occidental de B.C.S se tiene 21° C; además, entre la costa

de Acapulco, Gro., y Puerto Ángel, Oax., así como en el extremo sureste de la costa de Chis., la temperatura es de 28° C. En el Golfo de México al este de Coatzacoalcos, Ver., y hasta el poniente de Progreso, Yuc., se tiene 25° C; En el sur del litoral caribeño de Quintana Roo la TSM es de 27° C.

En el Golfo de California la anomalía mayor se localiza en Puerto Escondido con + 3° C; el sobrecalentamiento en el espacio marino del Pacífico, se presenta a partir de la parte norte del litoral de Nayarit hasta la costa de Colima que alcanza + 2° C.

En la línea costera del litoral del Golfo de México, se localiza al desde el norte de Soto La Marina, Tamps., a Tuxpan, Ver., y nuevamente continua del Puerto de Veracruz hasta Progreso, Yuc., que registra + 1° C. La mayor parte del litoral de Quintana Roo reúne una ATSM de + 1° C.



# Capítulo III: Las centrales térmicas de energía oceánica (OTEC)

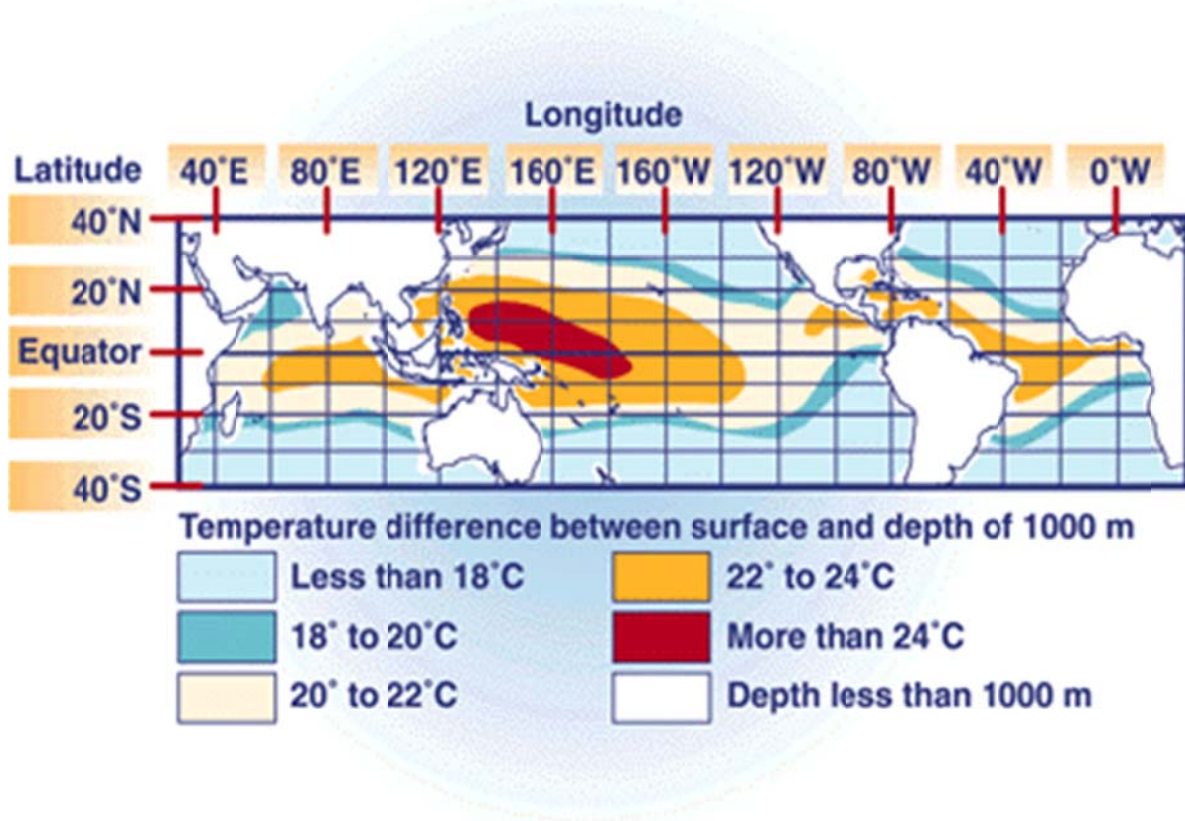
## CAPITULO III: LAS CENTRALES TÉRMICAS DE ENERGÍA OCEÁNICA (OTEC).

### 3.0 ¿QUÉ ES LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA OCEÁNICA?

Los océanos cubren un poco más de 70 por ciento de la superficie terrestre. Esto los hace los colectores de energía solar más grandes del mundo y sistema de almacenamiento de energía. En un día promedio, 60 millones de kilómetros cuadrados (23 millones de millas cuadradas) de los mares tropicales, absorben una cantidad de radiación solar equivalente en el contenido de calor de cerca de 250 millones de barriles de petróleo. Si es menos de una décima parte del uno por ciento de la energía solar almacenada podría convertirse en energía eléctrica, que suministrará más de 20 veces la cantidad total de electricidad consumida en los Estados Unidos en un día determinado.

OTEC, o la conversión de energía térmica oceánica, es una tecnología de energía que convierte la radiación solar en energía eléctrica. El Sistema OTEC usa el océano como gradiente térmico natural el hecho de que las capas del océano tiene diferentes temperaturas impulsan un ciclo de producción de energía. Mientras la temperatura entre el agua caliente de la superficie y el agua fría profunda difiere por aproximadamente 20 ° C (36 ° F), un sistema OTEC puede producir una cantidad significativa de energía. Los océanos son, pues, un gran recurso renovable, con el potencial para ayudarnos a producir miles de millones de vatios de energía eléctrica. Este potencial se estima en alrededor de  $10^{13}$  vatios de generación de carga base de energía, de acuerdo con algunos expertos. El agua de mar fría y profunda se utilizada en el proceso OTEC también es rica en nutrientes, y puede ser usado para cultivar ambos organismos marinos y plantas cerca de la costa o en tierra.

Figura 16: temperaturas del mundo.



La economía de la producción actual de energía ha retrasado la financiación de una planta permanente, de funcionamiento continuo OTEC. Sin embargo, OTEC es muy prometedor como fuente de energía alternativa para comunidades de las islas tropicales que dependen en gran medida del combustible importado. Plantas de OTEC en estos mercados podría proporcionar los isleños que tanto necesitan el agua desalada y una variedad de productos de la maricultura.

### 3.1 OTEC.

La tecnología OTEC se inicia con las ideas de D'Arsonval, llevadas a la práctica por George Claude en la Bahía de Matanzas en 1930, con posterioridad la tecnología ha tenido un lento desarrollado, lo cual tiene en los Estados Unidos, Japón, Taiwán y la India a sus líderes internacionales. Los valores actuales del petróleo convierten a la OTEC, cuyas siglas en inglés significan Conversión de

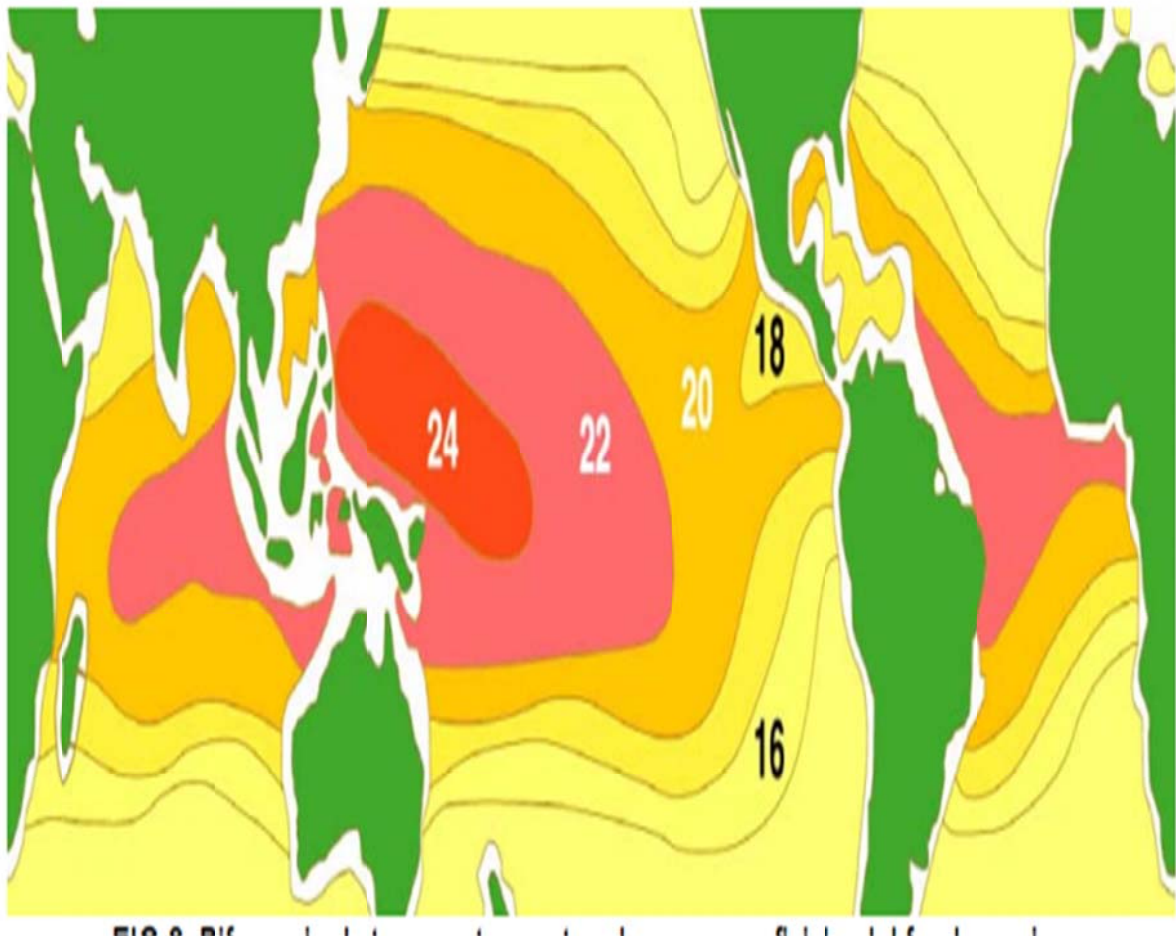
energía térmica oceánica, en un atractivo variante de producir energía eléctrica de forma limpia y con alternativas productivas adicionales no menos importantes, por la posibilidad de producir agua desalinizada, productos alimentarios, servicios de climatización, cloruro de litio, titanio y hasta hidrógeno; variante esta última, a la cual se refieren los norteamericanos para producir el hidrógeno en el mar y llevarlo a tierra firme, para ser utilizado como combustible en centrales termoeléctricas del futuro, eliminando así la utilización del combustible fósil, similar propuesta tienen los japoneses.

Indiscutiblemente la tecnología OTEC ha tenido grandes retos que vencer, como la corrosión por la presencia del agua de mar, un costo de inversión superior a otras tecnologías, las grandes dimensiones de los equipos tecnológicos y otras; pero sin discusión, la tubería para obtener el agua fría del fondo marino por su alto costo, grandes dimensiones y engorrosa colocación y fijación; y la baja eficiencia del ciclo termodinámico, son hasta el momento, las dos grandes barreras para su explotación industrial.

### **3.2 ANTECEDENTES SOBRE LAS TECNOLOGÍAS OTEC Y LAS INVESTIGACIONES.**

El concepto básico primario para comprender la fuente energética de la OTEC se encuentra relacionado con el comportamiento estable térmico del ecosistema oceánico, existiendo una relación entre la temperatura del agua y la profundidad del mar que establece temperaturas fijas y también, igualmente el promedio de las aguas superficiales marinas oscila entre los 26 a 30 °C en el trópico durante todo el año, lo cual garantiza diferencias entre el fondo y la superficie de las aguas superiores a los 18 °C, ambos comportamientos se muestran en la siguiente figura.

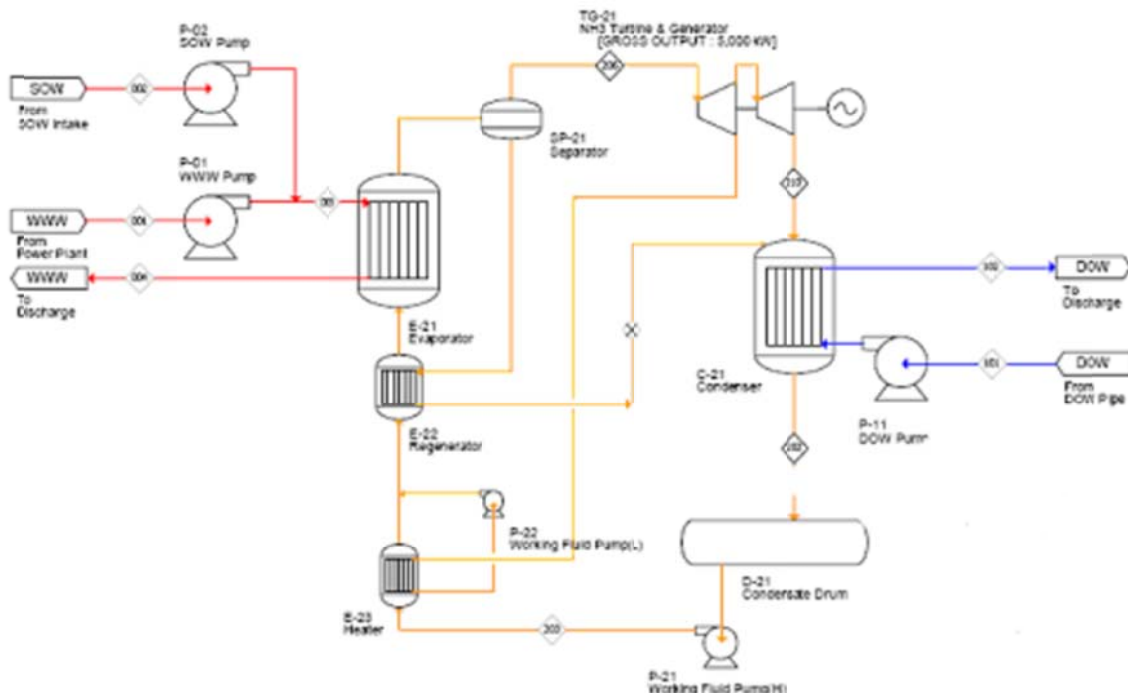
Figura 17: diferencia de temperaturas entre el agua superficial y del fondo del mar.



Tales fenómenos son aprovechados, en la tecnología de generación de corriente eléctrica OTEC, unido la utilización de una sustancia de trabajo adecuada, capaz de realizar los cambios de fases a dichas temperaturas, y así lograr la generación de corriente eléctrica sin el consumo de ningún combustible. George Claude logró en la Bahía de Matanzas, en 1930, producir 22 KW mediante un ciclo abierto de escasa eficiencia termodinámica. Hoy, la tecnología ha evolucionado a un ciclo híbrido capaz de generar en su primera fase electricidad y agua fresca en un ciclo cerrado, utilizando una mezcla de amoníaco y agua como fluido de trabajo, No obstante, la búsqueda y perfeccionamiento para introducción de la tecnología OTEC frente a la competencia del resto de las tecnologías generadoras de

electricidad, ha optimizado el proceso OTEC, incluyéndose tecnologías para la obtención de minerales, como el titanio y el cloruro de litio, y/o la producción de especies marinas como micro y micro algas, peces, perlas, ostiones, langostas y otras. Otro uso muy atractivo del agua fría del fondo del mar es en la climatización de hoteles y otras instalaciones, conllevando un notable ahorro del consumo de electricidad. Por último, tanto japoneses como norteamericanos apuestan por la producción de hidrógeno en la OTEC para su posterior uso como combustible en las Centrales Termoeléctricas actuales, sustituyendo al petróleo escaso y contaminador de la atmósfera.

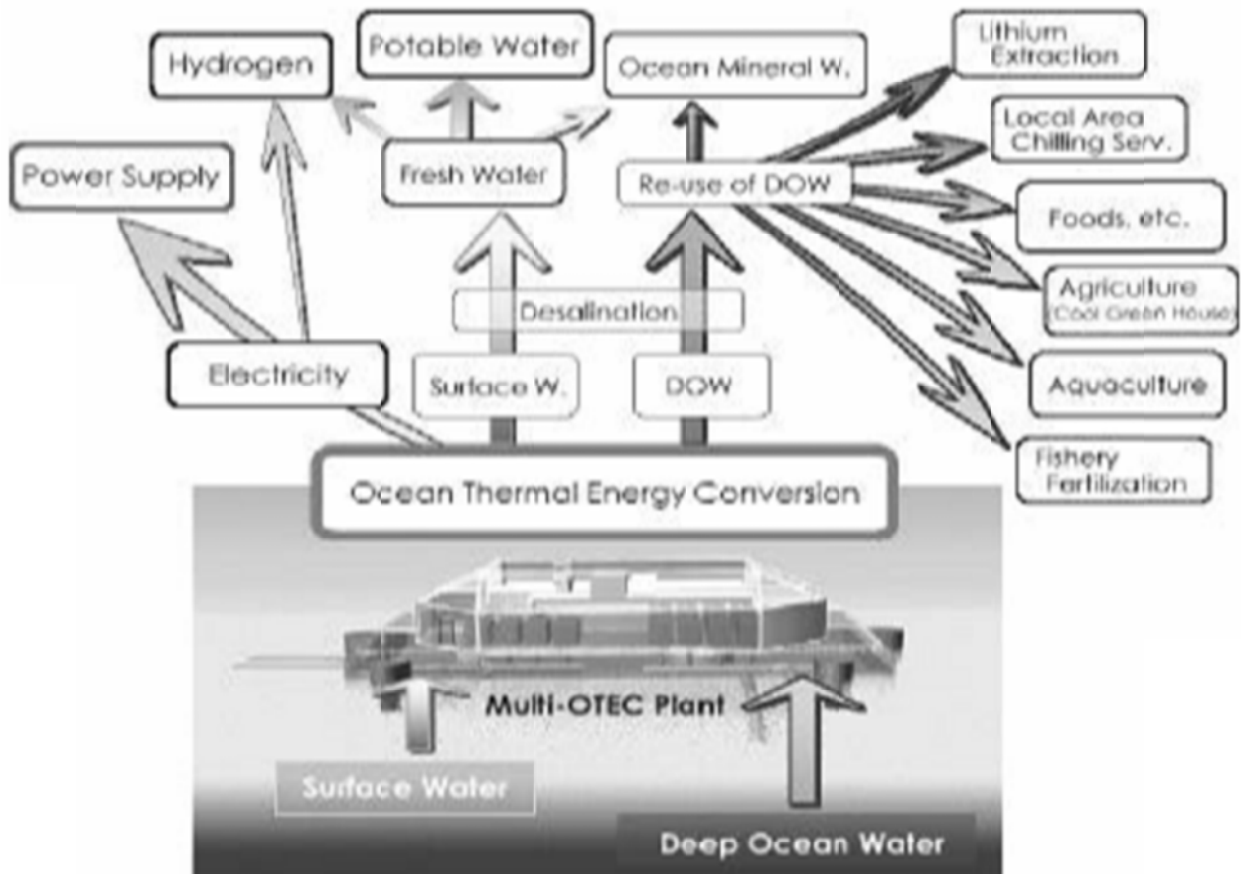
Diagrama 1: Ciclo termodinámico OTEC para producción de energía eléctrica y agua



La figura presenta un esquema del enfoque de Producción + Limpia, desarrollado por el Laboratorio de Hawái en sus instalaciones. De forma similar la Universidad de Saga en Japón, dispone de varias plantas piloto donde se ensayan tecnologías

y validan patentes de vinculadas con la generación de electricidad, transferencia de calor y producciones de titanio, cloruro de litio e hidrógeno.

Diagrama 2: Enfoque de P+L actual de las tecnologías OTEC.



### 3.3 MECANISMOS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL TÉRMICA OCEÁNICA

Desde que en 1881 Arsène Arsonval idease esta forma de obtener energía, se han propuesto diversos mecanismos para hacer factible una central de este tipo tomando como base los intentos fallidos que el ingeniero francés Georges Claude llevó a cabo en 1930.

### 3.3.1 CICLO RANKINE

Se trata del mecanismo de funcionamiento por excelencia de cualquier central térmica. Para las centrales de OTEC en concreto se usan distintos fluidos para mover las turbinas, cada uno con sus ventajas e inconvenientes. Por ejemplo, si se usa el agua del mar encontramos con que además de producir electricidad, obtendríamos grandes cantidades de agua dulce (del orden de las 300 Ton/hora en una central de 3,5 MW), además de poder utilizar el agua del fondo marino (muy rica en nutrientes) para la acuicultura. Por contra, la maquinaria empleada se desgastaría con mayor rapidez debido a la corrosión, la alta salinidad del agua... Por otro lado, si lo que interesa es aumentar la eficacia a la hora de producir electricidad, se usarán sustancias como el propano o el amoníaco. Esto es debido a que las temperaturas en el evaporador y el condensador son bajas, por ello se debe escoger un fluido de trabajo cuya presión de vapor sea bastante grande a esas temperaturas (el propano ( $C_3H_8$ ) tiene una presión de vapor de alrededor de 5,5 atm a  $5^{\circ}C$ , y unas 9,5 atm a  $25^{\circ}C$ ; el amoníaco tiene a las temperaturas citadas, presiones de vapor de 5,2 atm y 10,3 atm respectivamente).

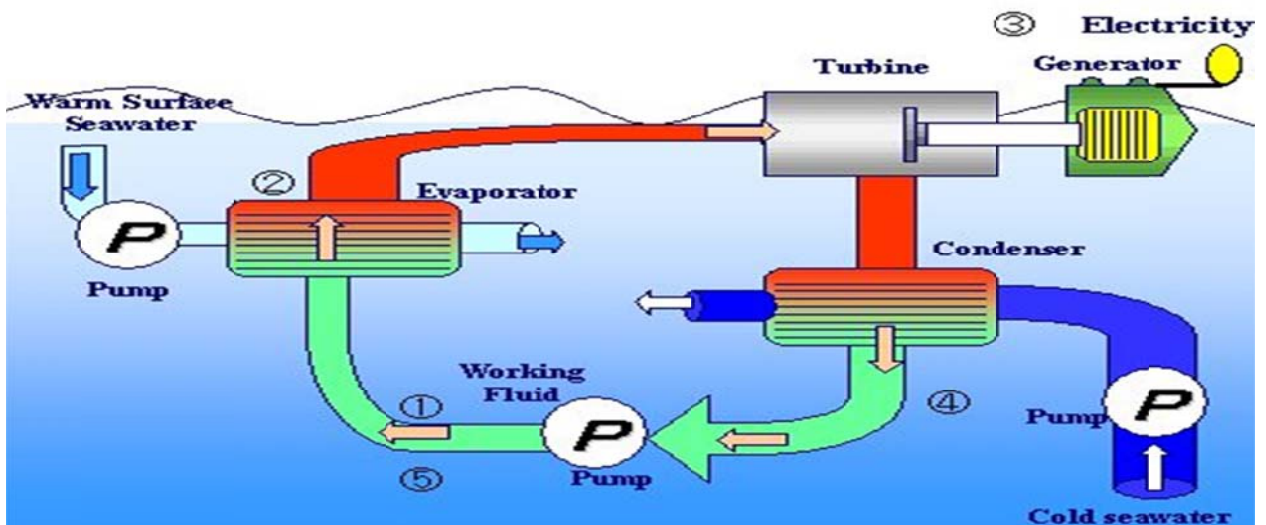
El ciclo de Rankine consta de las siguientes etapas:

- 1) El fluido de trabajo se introduce mediante una bomba al interior del evaporador.
- 2) El agua de mar caliente superficial proporciona calor al fluido, provocando así que éste se evapore.
- 3) El fluido (que se encuentra en estado gaseoso y bajo una gran presión) pasa a través de una turbina generando electricidad.
- 4) El fluido de trabajo es condensado en el condensador gracias al agua fría del fondo marino.



5) Si se trabaja con agua del mar, finalmente nos quedará agua dulce que podrá ser empleada para otras aplicaciones. Si por el contrario teníamos amoníaco o propano, este es bombeado hacia el evaporador para reiniciar el ciclo.

Esquema 1: general del Ciclo de Rankine



### 3.3.2 CICLO KALINA

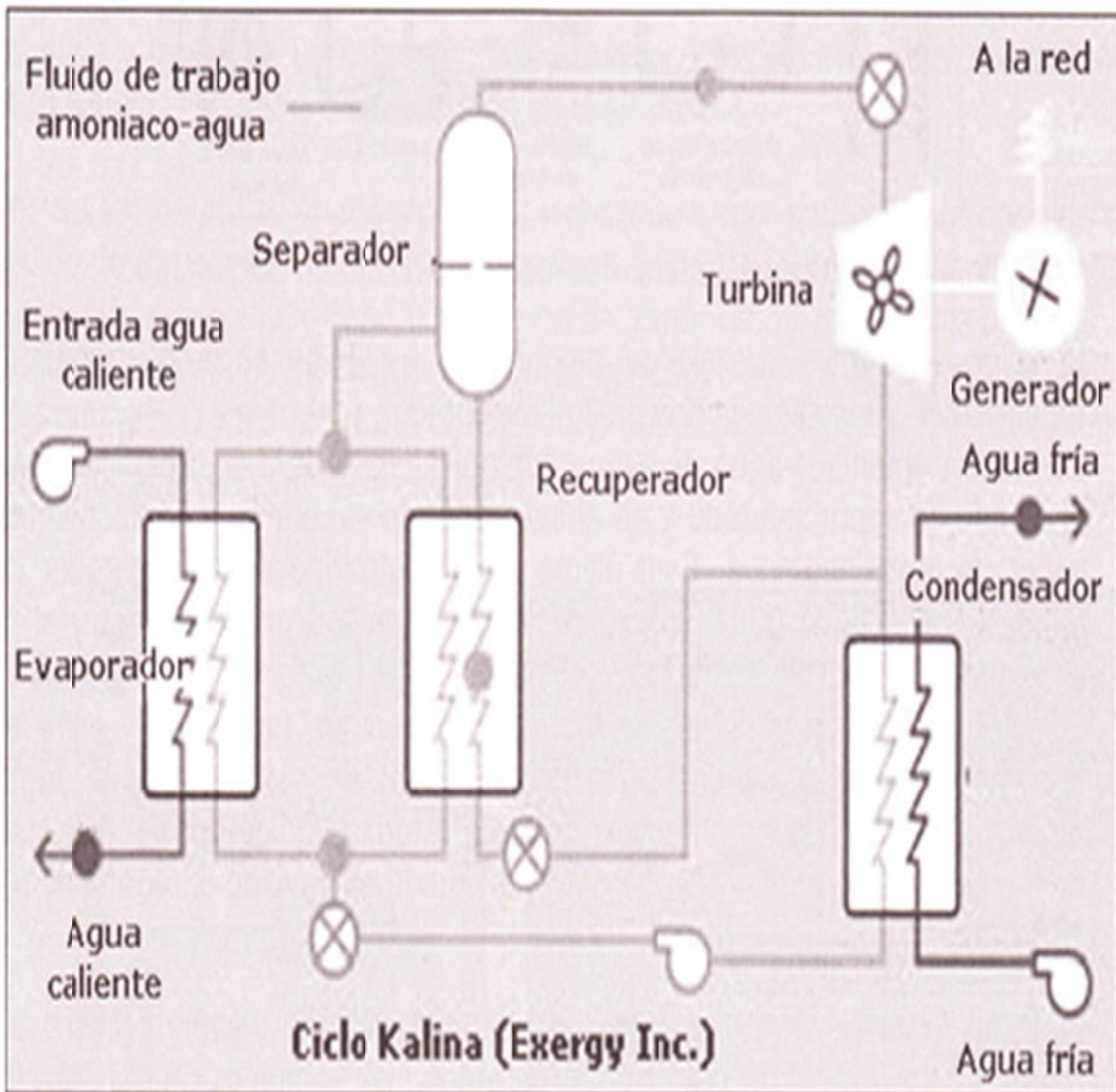
Se usó por primera vez en Estados Unidos en el año 1985. Se trata de un Ciclo Rankine modificado que utiliza como fluido de trabajo una mezcla cuya composición es 60% de amoníaco y el 40% de agua (en peso). Esta mezcla es mucho más fácil de conducir por el evaporador y el condensador a través de un intercambiador de calor a contracorriente. Con ello conseguimos que la elevación de temperatura de la mezcla pueda ser más alta que la necesaria para condensar el amoníaco anhidro (líquido), por lo que necesitamos menos agua fría para condensar el amoníaco, lo que se traduce en un ahorro económico (disminuyen las

dimensiones de la tubería de toma de agua fría) y en un aumento de la eficacia energética del sistema.

En el ciclo Kalina ocurre lo siguiente:

- 1) La mezcla entra a contracorriente en el evaporador, lugar en el que recibe el calor del agua caliente de la superficie.
  
- 2) Como resultado obtenemos una mezcla de amoníaco gaseoso y agua líquida, la cual se conduce hacia el separador. Desde aquí, el vapor de amoníaco entra en la turbina y produce electricidad, mientras que el líquido caliente del separador es conducido a través del recuperador para calentar una nueva mezcla de entrada al separador (sirviendo a modo de calentador complementario al evaporador).
  
- 3) Tras pasar por la turbina, el amoníaco líquido se reencuentra con el agua líquida que ha servido para calentar otra mezcla, y la cual está ahora más fría que al principio, siendo necesaria menos agua fría en el condensador.

Diagrama 3: esquema general del ciclo Kalina.



- 4) Tras atravesar el condensador a contracorriente, la mezcla agua-amoniaco es dirigida de nuevo hacia el condensador y el recuperador para reiniciar el ciclo.

### 3.3.3 CICLO UEHARA

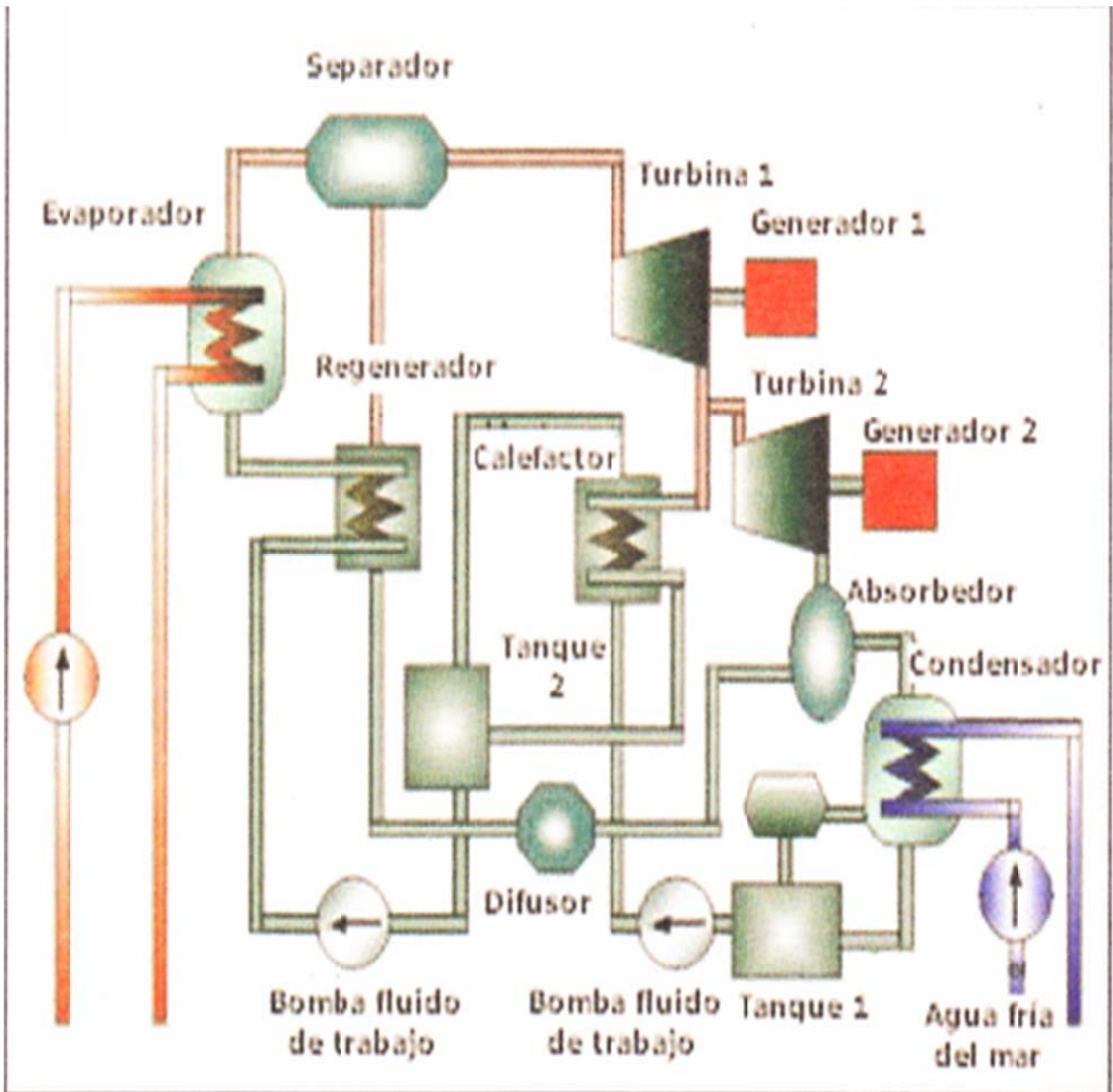
Este método fue ideado por miembros de la universidad de Saga (Japón) en el año 1994. Es el más complejo de todos, consta de las siguientes fases:

1) El fluido de trabajo, mezcla de agua y amoníaco, se envía pasando por el regenerador al evaporador.

2) La mezcla es evaporada por el calor que recibe del agua de la superficie. Después es conducida hacia el separador, lugar en el que se separa en amoníaco líquido y vapor de amoníaco-agua. Esta última crea electricidad en el generador de la primera turbina, y parte del vapor de salida se envía a un calentador, mientras que otra genera electricidad en la segunda turbina.

3) El amoníaco líquido pasa a través de un regenerador, un difusor y entra en el absorbedor donde absorbe la mezcla del vapor que ha atravesado la segunda turbina. El vapor que no es absorbido pasa a forma líquida gracias al agua fría del fondo en un condensador. Por último, el líquido es enviado de nuevo al regenerador y al evaporador para repetir el ciclo.

Diagrama 4: ciclo Uehara



### 3.4 LOGROS EN LA ENERGÍA OTEC.

En 1881, Jacques Arsene d'Arsonval, un físico francés, fue el primero en proponer aprovechar la energía térmica del océano. Georges Claude, un estudiante de D'Arsonval, construyó un experimento del ciclo abierto del sistema OTEC en la

bahía de Matanzas, Cuba, en 1930. El sistema produce 22 kilovatios (kW) de electricidad mediante el uso de una turbina de baja presión. En 1935, Claude construyó otra planta de ciclo abierto, esta vez a bordo de un buque de carga de 10.000 toneladas atracado en la costa de Brasil. Sin embargo, ambas plantas fueron destruidas por el tiempo y las olas, y Claude nunca alcanzó su meta de producción de potencia neta (el resto después de restar el poder necesario para ejecutar el sistema) de un sistema de ciclo abierto OTEC.

Luego, en 1956, investigadores franceses diseñaron un ciclo abierto en la planta de Abiyán, en la costa occidental de África. Sin embargo, la planta nunca fue terminada debido a la competencia con la energía hidroeléctrica de bajo costo. En 1974, el Laboratorio de Energía Natural de Hawai (NELHA, antes NELH), en el punto de Keahole en la costa de Kona de la isla de Hawai, se estableció. Se ha convertido en laboratorio de todo el mundo y las instalaciones de pruebas de tecnologías OTEC.

En 1979, el primero de 50 kilovatios (eléctrico) (kWe) de ciclo cerrado, planta de demostración OTEC subió al NELHA. Conocido como el "Mini-OTEC," la planta fue montada en una barcaza de conversión Marina de los EE.UU. entrancado aproximadamente 2 kilómetros de Keahole Point. La planta que utiliza una tubería de agua fría para producir 52 kWe de potencia bruta y el 15 kWe de potencia neta.

En 1980, el Departamento de Energía de EE.UU. (DOE), construyó OTEC-1, un sitio de prueba para los intercambiadores de calor de ciclo cerrado OTEC instalados a bordo de un buque tanque. Los resultados del ensayo identificado método para diseñar a escala comercial intercambiadores de calor y demostró que los sistemas OTEC puede operar desde buques que se mueven lentamente con poco efecto sobre el medio ambiente marino. Un nuevo diseño de suspensión de tuberías de agua fría fue validado en ese lugar de la prueba. También en 1980, dos leyes fueron promulgadas para promover el desarrollo comercial de la tecnología OTEC :la energía térmica oceánica, Ley Pública (PL) 96-320,

posteriormente modificada por PL 98-623, y el Océano de conversión de energía térmica Investigaciones para el Desarrollo, y la demostración de la Ley, PL 96-310.

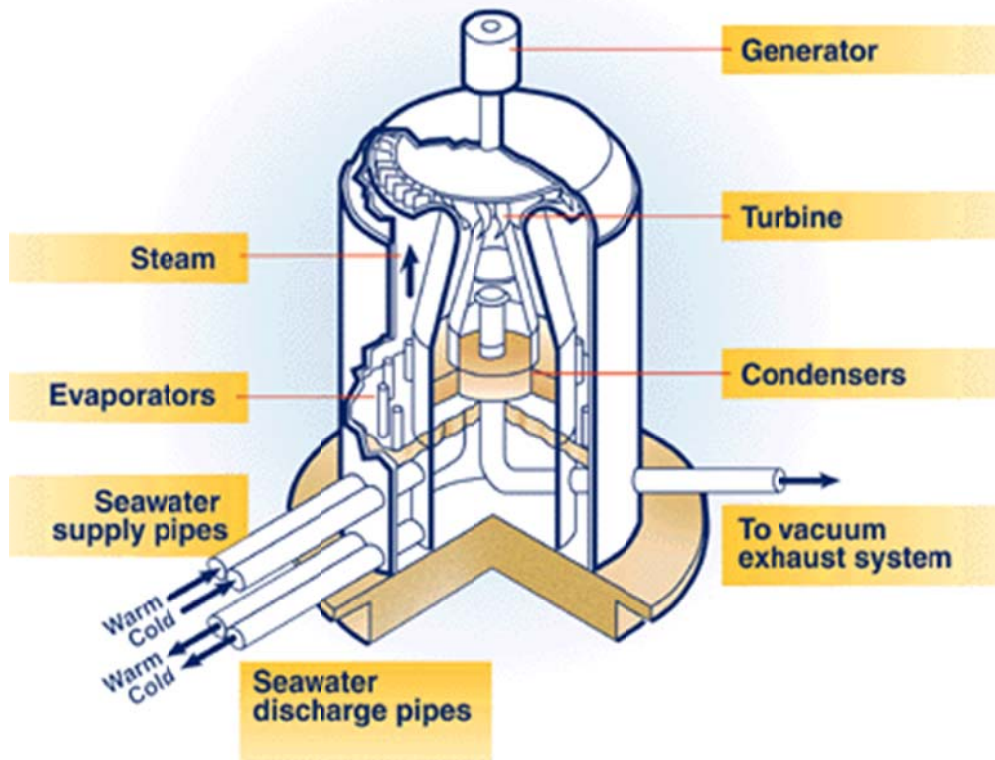
En 1981, Japón demostró una en tierra, 100 kWe de ciclo cerrado, planta en la República de Nauru en el Océano Pacífico. Esta planta emplea tubería de agua fría puso en el lecho marino a una profundidad de 580 metros. Freón fue el fluido de trabajo, y una de titanio de carcasa y tubo intercambiador de calor fue utilizado. La planta superó las expectativas de ingeniería mediante la producción de 31,5 kWe de potencia neta durante las pruebas de funcionamiento continuo.

Más tarde, las pruebas realizadas por el Departamento de Energía EE.UU. determinó que la aleación de aluminio puede ser utilizada en lugar de titanio que es más caro para fabricar intercambiadores de calor para grandes sistemas OTEC

En 1984, los científicos de un laboratorio nacional de DOE, el Solar Energy Research Institute (SERI, ahora el Laboratorio Nacional de Energías Renovables), desarrolló un evaporador vertical del orificio de salida para convertir agua de mar caliente en vapor de baja presión para las plantas de ciclo abierto. La eficiencia de conversión de energía de hasta el 97% se logró. Condensadores de contacto directo con envases avanzados también se demostró ser un medio eficaz para disponer de vapor de agua.

Investigadores británicos, por su parte, se han diseñado y probado intercambiadores de calor de aluminio que podrían reducir los costos de intercambiadores de calor a \$ 1500 por kilovatio instalado de capacidad. Y el concepto de una tubería de agua de mar suave y de bajo costo fue desarrollado y patentado. Tal tubería podría hacer innecesarias limitaciones de tamaño, así como mejorar la economía de los sistemas OTEC.

Figura: 18 tecnologías OTEC.



En mayo de 1993, una planta OTEC de ciclo abierto en el punto de Keahole, Hawai, produjo 50.000 vatios de electricidad en una red de producción de energía experimental. Esto rompió el récord de 40.000 vatios establecidos por un sistema japonés en 1982. Hoy en día, los científicos están desarrollando nuevas y rentables, plantas de producción de energía OTEC.

### 3.5 TECNOLOGIA OTEC.

Conversión de Energía Térmica Oceánica (OTEC) es una tecnología para la generación de energía renovable que utiliza la diferencia de temperatura entre el frío intenso y relativamente más cálidas las aguas superficiales del océano para generar electricidad de base. La tecnología es viable sobre todo en las zonas ecuatoriales de la Tierra, donde el diferencial de temperatura durante todo el año entre las aguas profundas del océano frío y caliente de la superficie es superior a 20 ° C (36 ° F). Una instalación de OTEC requiere de grandes volúmenes de forma

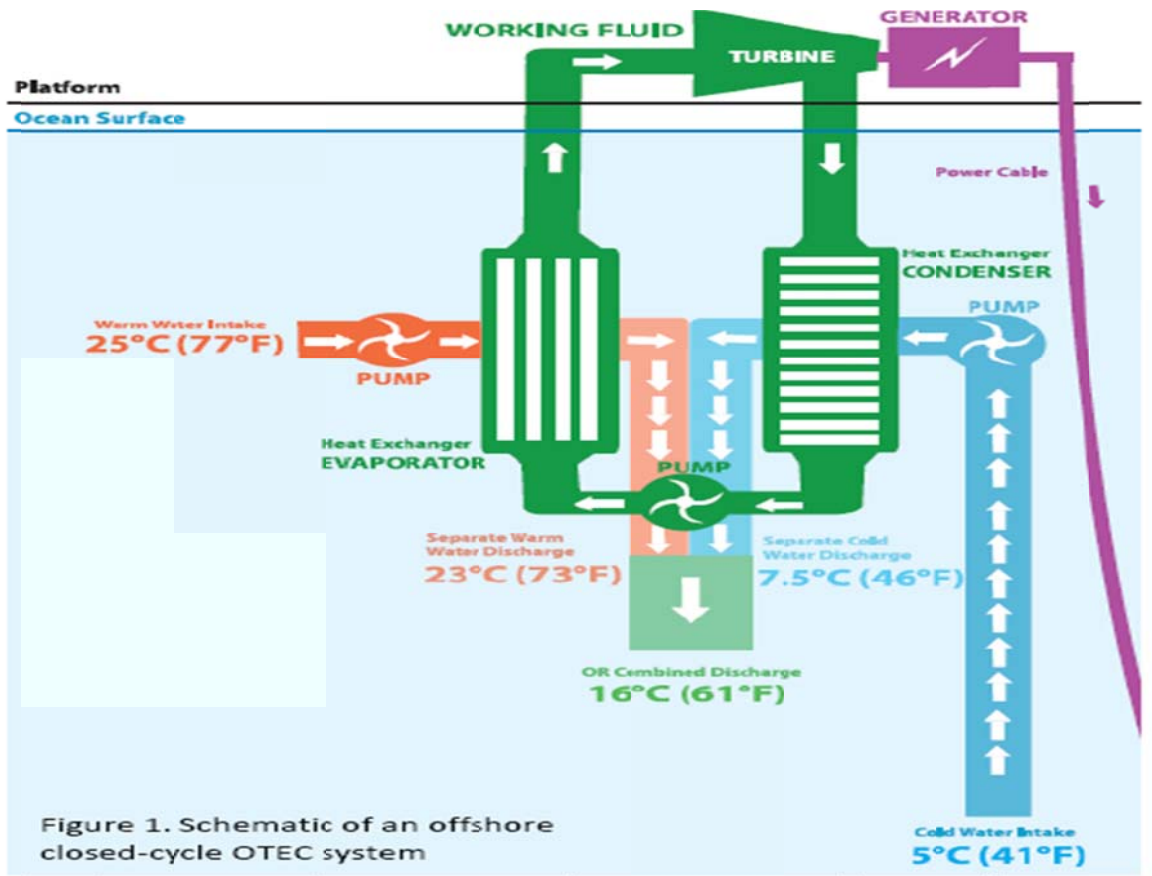


continua tanto de agua caliente y agua fría para generar electricidad. Un megavatio 100 (MW) OTEC es probable que requieren de 10-20 mil millones de galones de agua por día. Hay varios tipos de sistemas de OTEC.

Ciclo cerrado OTEC Sistema de alimentación:

OTEC es un sistema de fuente de calor (es decir, el agua caliente) y un disipador de calor (por ejemplo, el agua fría). El agua caliente pasa a través de un intercambiador de calor (es decir, el evaporador) que está en contacto con un circuito cerrado de fluido de trabajo (amoníaco probable). El agua caliente se evapora el fluido de trabajo en un vapor que se expande y mueve una turbina. La turbina, conectada a un generador, es la fuente de energía mecánica. El generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Después de que el líquido vaporizado de trabajo pasa a través de la turbina y el generador que entra en otro intercambiador de calor (es decir, un condensador) que está en contacto con el agua fría. El fluido de trabajo vaporizado se condensa de nuevo en un líquido que se bombea de nuevo en el evaporador para completar el ciclo. Tanto el agua fría y el agua fría caliente se vierten en el océano después de que hayan pasado a través de los intercambiadores de calor. La figura es un esquema del sistema de ciclo cerrado.

Figura 19: sistema OTEC.



Tubería de agua fría:

Una característica única de una instalación de OTEC es la tubería de agua fría. La tubería debe ser capaz de soportar los rigores del medio ambiente marino con el fin de permanecer unidos a la plataforma de OTEC. Con el fin de obtener el diferencial de temperatura necesario para el sistema ( $20^{\circ}\text{C}$ ), el tubo debe ser capaz de retirar el agua fría a una profundidad de aproximadamente 3300 pies (1000 metros). Para acomodar los grandes flujos de agua fría, el tamaño de la tubería para una instalación de 100 MW puede ser de aproximadamente 33 pies (10 metros) de diámetro. La construcción, despliegue e instalación de la tubería de agua fría se han mantenido un desafío de ingeniería.

Otras características del sistema:

Una plataforma de superficie es una parte integral de la instalación que es necesario para albergar el equipo necesario para el sistema de OTEC. Una plataforma estacionaria OTEC se mantiene en su lugar por las líneas de amarre y anclajes. Una plataforma de OTEC puede ser visible desde la costa. Un cable de poder que se encuentra sobre o por debajo del fondo del océano que conecte la electricidad a la planta off-shore a la red eléctrica.

Otros productos de OTEC

OTEC tecnología tiene el potencial para ser integrado con otros sistemas comerciales (por ejemplo, la acuicultura y acondicionamiento de aire de agua de mar) y productos (por ejemplo, agua potable, amoníaco e hidrógeno).

### **3.5.1 INVESTIGACIÓN NECESARIA**

Para acelerar el desarrollo de los sistemas de OTEC, los investigadores necesitan:

- Obtener datos sobre funcionamiento de la planta OTEC con las plantas de demostración de tamaño adecuado
- Desarrollar y caracterizar de agua fría tecnología de tubo y crear una base de datos de información sobre materiales, diseño, despliegue e instalación
- Llevar a cabo investigaciones sobre los sistemas de intercambiadores de calor para mejorar el rendimiento de transferencia de calor y reducir los costos

- Llevar a cabo investigaciones en las áreas de conceptos innovadores de la turbina para las grandes máquinas necesarias, para los sistemas de ciclo abierto
- Identificar y evaluar los conceptos avanzados para la extracción de energía térmica oceánica

Más información sobre las necesidades de una OTEC.

- Tubería de agua fría ,
- condensadores de contacto directo ,
- evaporadores ,
- integración / sistemas ,
- agua de mar desaireación ,
- sistemas de agua de mar ,
- condensadores de superficie ,
- y turbinas .

### 3.6 BENEFICIOS DE LA OTEC

Podemos medir el valor de una conversión de energía térmica oceánica (OTEC) con las instalaciones y el desarrollo continuo OTEC por sus beneficios tanto económicos como no económicos. Beneficios económicos OTEC incluyen los siguientes:

- Ayuda a los combustibles de productos como el hidrógeno, amoníaco y metanol
- Produce energía de carga base eléctrica
- Produce agua desalada para usos industriales, agrícolas y residenciales
- Es un recurso para las operaciones de maricultura en la costa y cercanas a la costa
- Ofrece aire acondicionado para edificios

- Proporciona moderada temperatura de refrigeración
- Tiene un gran potencial para proporcionar energía limpia y rentable de electricidad para el futuro.

Los beneficios no económicos OTEC, que nos ayudan a lograr objetivos ambientales globales, incluyen los siguientes:

- Fomenta la competitividad y el comercio internacional
- Mejora la independencia energética y la seguridad energética
- Promueve la estabilidad socio-política internacional
- Tiene potencial para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de la quema de combustibles fósiles.

En las pequeñas naciones insulares, los beneficios de la OTEC son la autosuficiencia, un mínimo impacto ambiental, y mejorar el saneamiento y la nutrición, que resultan de la mayor disponibilidad de agua desalada y de los productos de maricultura.

### **3.7 PLANTA DISEÑO Y UBICACIÓN.**

Las plantas deben estar ubicadas en un ambiente que sea lo suficientemente estable como para el funcionamiento eficiente del sistema. La temperatura del agua de mar de superficies calientes debe diferir aproximadamente 20 ° C (36 ° F) de la del agua fría profunda que no es más que alrededor de 1000 metros (3280 pies) por debajo de la superficie. El gradiente térmico natural de los océanos es necesario para el funcionamiento OTEC generalmente se encuentra entre las latitudes 20 ° N y 20 ° S. En esta zona tropical son dos partes de las naciones industriales de los Estados Unidos y Australia-, así como 29 y 66 territorios de las naciones en desarrollo. De todos estos sitios posibles, las islas tropicales con los requisitos de energía crecientes y una dependencia del petróleo importado son las áreas más probables para el desarrollo de OTEC.

Instalaciones comerciales de OTEC se puede construir sobre

- Tierra o cerca de la orilla
- Las plataformas unido a la plataforma
- Amarres o que flotan libremente en instalaciones de agua profunda del océano .

### **3.7.1 INSTALACIONES EN TIERRA Y CERCANAS A LA COSTA**

Instalaciones en tierra y cerca de la costa, ofrecen tres ventajas principales sobre los ubicados en aguas profundas. Las plantas construidas sobre o cerca de la tierra no requieren amarre sofisticado, cables largos de poder, o el mantenimiento más extenso asociado con ambientes de mar abierto. Se pueden instalar en áreas protegidas de modo que son relativamente seguros de las tormentas. Electricidad, agua desalada y agua de mar fría, ricos en nutrientes podría ser transmitido de las instalaciones cercanas a la costa a través de puentes de caballete o calzadas. Además, los sitios basados en tierra o cerca de la costa, permiten que las plantas OTEC puedan operar con industrias relacionadas, como la maricultura, o aquellos que requieren de agua desalinizada.

Favorecidos lugares son aquellos con islas volcánicas y empinadas pendientes en alta mar, y los pisos del mar relativamente suaves. Estos sitios minimizan la longitud de la tubería de admisión de agua fría. Una planta terrestre se podría construir tierra adentro desde la costa, que ofrece más protección contra las tormentas, o en la playa, donde las tuberías serían más cortas. En cualquier caso, el acceso fácil para la construcción y operación ayuda a reducir el costo de OTEC.

Los sitios en tierra o cerca de la costa también puede apoyar la maricultura. Tanques o lagunas construidas para la maricultura en la costa que los trabajadores puedan vigilar y controlar. Productos de la maricultura se puede

entregar al mercado con relativa facilidad a través de vías férreas o carreteras.

Una desventaja de instalaciones en tierra surge de la acción del oleaje turbulento en la zona de rompientes. A menos que la oferta de la planta de OTEC en el agua y las tuberías de descarga se encuentran enterrados en zanjas de protección, que estará sujeto a un estrés extremo durante las tormentas y los períodos prolongados de mar gruesa. Además, la descarga mixta de agua de mar fría y caliente puede tener que ser llevado a varios cientos de metros de la costa para llegar a la profundidad apropiada antes de que se libere. Esta disposición requiere un gasto adicional en la construcción y mantenimiento.

Sistemas OTEC puede evitar algunos de los problemas y gastos de funcionamiento en una zona de rompientes, si se construyen cerca de la costa en aguas de entre 10 y 30 metros de profundidad (Ocean Thermal Corporación 1984). Este tipo de planta que utilizaría la ingesta de más corto (y por lo tanto menos costosa) y las tuberías de descarga, lo que evitaría los peligros de oleaje turbulento. La propia planta, sin embargo, requieren la protección del medio ambiente marino, tales como rompe olas y fundaciones resistentes a la erosión, y la salida de la planta tendría que ser transmitida a la orilla.

### **3.7.2 PERÍODO DE INSTALACIONES**

Para evitar la zona de oleaje turbulento, así como para tener más cerca el acceso al recurso de agua fría, plantas OTEC se puede montar en la plataforma continental a profundidades de hasta 100 metros. Una planta de estante montado podría ser construida en un astillero, remolcado al sitio, y se fija al fondo del mar. Este tipo de construcción ya se usa para las plataformas petrolíferas en alta mar. Los problemas adicionales de la operación de una planta de OTEC en aguas más profundas, sin embargo, puede hacer que las instalaciones montadas en el tiempo de conservación menos deseables y más caros que sus homólogos terrestres. Problemas con las plantas de montaje en estante incluyen el estrés de

las condiciones de mar abierto y entrega del producto sea más difícil. Tener en cuenta las fuertes corrientes del océano y las olas grandes requiere de ingeniería y gastos adicionales de la construcción. Plataformas requieren pilotes extensos para mantener una base estable para el funcionamiento OTEC. La entrega de potencia también puede ser costosa debido a los largos cables submarinos necesarios para llegar a tierra. Por estas razones, montados en plataforma, las plantas son menos atractivas para el corto plazo el desarrollo de OTEC.

### **3.7.3 INSTALACIONES FLOTANTES.**

Instalaciones flotantes OTEC podría ser diseñado para operar en alta mar. Aunque potencialmente preferida para los sistemas con una gran capacidad de energía, instalaciones flotantes presentan varias dificultades. Este tipo de planta es más difícil de estabilizar, y la dificultad de amarre en aguas muy profundas puede crear problemas con la entrega de potencia. Los cables conectados a plataformas flotantes son más susceptibles a los daños, especialmente durante las tormentas. Los cables en profundidades superiores a los 1000 metros son difíciles de mantener y reparar.

Los cables de elevación, que cubren la distancia entre el fondo del mar y la planta, deben ser construidos para resistir.

Al igual que con las plantas montadas en estante, plantas flotantes necesitan una base estable para el funcionamiento continuo OTEC .Las principales tormentas y mar gruesa puede romper la suspendida verticalmente tubería de agua fría e interrumpir la ingesta de agua caliente también. Para ayudar a evitar estos problemas, los tubos pueden estar hechos de polietileno relativamente flexible unido a la parte inferior de la plataforma con articulaciones o collares. Tubos que tengan que ser desacoplados de la planta para evitar daños durante las tormentas. Como una alternativa a tener una tubería de agua caliente, el agua superficial se puede extraer directamente en la plataforma, sin embargo, es



necesario para localizar la entrada con cuidado para evitar el flujo de admisión de ser interrumpida durante mar gruesa cuando la plataforma se sube y baja violentamente.

Si una planta flotante se va a conectar a los cables de suministro de energía, es necesario que se mantenga relativamente estacionaria. Amarre es un método aceptable, pero la tecnología en el puerto actual se limita a profundidades de cerca de 2000 metros (6560 pies).

Una alternativa a la de aguas profundas OTEC puede ser plantships la deriva o autopropulsados. Estos barcos utilizan la potencia neta a bordo para la fabricación de productos intensivos en energía como el hidrógeno, metanol o amoníaco (Francis, Avery, y Dugger, 1980).

Tabla 2: recursos de los océanos.

<b>Los países menos desarrollados con protección térmica adecuada Océano-Recursos 25 kilómetros o menos de la costa</b>		
<b>País / Zona</b>	<b>Diferencia de temperatura (° C) de agua entre 0 y 1.000 m</b>	<b>Distancia desde el recurso a la costa (km)</b>
<b>África</b>		
Benin	22-24	25
Gabón	20-22	15
Ghana	22-24	25
Kenia	20-21	25
Mozambique	18-21	25
Santo Tomé y Príncipe	22	01.10
Somalia	18-20	25
Tanzania	20-22	25
<b>América Latina y el Caribe</b>		
Bahamas, The	20-22	15
Barbados	22	01.10
Cuba	22-24	1
Dominica	22	01.10
República Dominicana	21-24	1
Granada	27	01.10
Haití	21-24	1

Jamaica	22	01.10
Santa Lucía	22	01.10
San Vicente y las Granadinas	22	01.10
<b>País / Zona</b>	<b>Diferencia de temperatura (° C) de agua entre 0 y 1.000 m</b>	<b>Distancia desde el recurso a la costa (km)</b>
Trinidad y Tobago	22-24	10
Islas Vírgenes de EE.UU.	21-24	1
<b>Índico y Pacífico</b>		
Las Comoras	20-25	01.10
Las Islas Cook	21-22	01.10
Fiyi	22-23	01.10
Guam	24	1
Kiribati	23-24	01.10
Maldivas	22	01.10
Mauricio	20-21	01.10
Nueva Caledonia	20-21	01.10
Islas del Pacífico Territorio en Fideicomiso	22-24	1
Filipinas	22-24	1
Samoa	22-23	01.10
Seychelles	21-22	1
Las Islas Salomón	23-24	01.10
Vanuatu	22-23	01.10

**NOTA:** Muchos países menos desarrollados tienen acceso a la energía obtenida

*a través de la explotación de las diferencias en la temperatura del agua. Deben ser menos de 25 kilómetros (15,5 millas) de una región oceánica donde hay una diferencia de temperatura de unos 20 ° C (36 ° F) en los primeros 1000 metros (3280 pies) por debajo de la superficie.*

La electricidad generada por las plantas instaladas de manera estable se puede entregar directamente a una red de suministro eléctrico. Un cable sumergido sería necesario para transmitir electricidad a partir de una plataforma flotante anclada a la tierra. Moviendo los barcos podían fabricar productos transportables, tales como metanol, hidrógeno o amoníaco a bordo.

### **3.8 LOS MERCADOS PARA LAS OTEC**

El análisis económico indica que, durante los próximos 5 a 10 años, la conversión de energía térmica oceánica (OTEC) las plantas pueden ser competitivas en cuatro mercados. El primer mercado es las pequeñas naciones insulares del Pacífico Sur y la isla de Molokai en Hawai. En estas islas, el coste relativamente elevado de diesel generado por la electricidad y el agua desalada puede ser pequeño [1 megavatio (eléctrico) (MW)], con base en tierra, en ciclo abierto planta OTEC, junto con una segunda etapa del sistema de producción de agua desalada rentable. Un segundo mercado se pueden encontrar en territorios estadounidenses como Guam y Samoa Americana, en donde con base en tierra, las centrales de ciclo abierto OTEC nominal de 10 MW con un sistema de agua de la segunda fase de producción sería rentable. Un tercer mercado es Hawai, donde es más grande, con base en tierra, cerrando el ciclo de la planta OTEC podría producir electricidad con una segunda etapa del sistema de producción de agua desalada. OTEC se convertirá rápidamente en un mercado rentable, cuando el costo del combustible diesel se duplica, para las plantas de clasificación a 50 MW, o bien más grande. El cuarto mercado es flotante, cerrando plantas de ciclo nominal de 40 MW o más grande que la casa de una fábrica o transmitir la electricidad a tierra a través de un cable submarino. Estas plantas se podrían construir en Puerto Rico, el Golfo de México, y los océanos

Pacífico, Atlántico e Índico.

Mayor potencial de OTEC es suministrar una fracción significativa del combustible que necesita el mundo mediante el uso de plantships grandes, de pastoreo para producir hidrógeno, amoníaco y metanol. De los tres mercados estudiados en todo el mundo para las pequeñas instalaciones de OTEC-Estados Unidos Costa del Golfo y el Caribe, África y Asia, y las Islas del Pacífico se espera que el mercado inicial para las plantas de ciclo abierto OTEC. Esta predicción se basa en el costo del petróleo, centrales eléctricas, la demanda de agua desalada, y los beneficios sociales de esta tecnología de energía limpia. Tecnología de EE.UU. OTEC se centra en las zonas costeras de Estados Unidos, incluyendo el Golfo de México, Florida y las islas como Hawai, Puerto Rico y las Islas Vírgenes.

### **3.8.1 FUTURO E INNOVACIÓN**

Si comparamos la energía térmica oceánica con el resto de las renovables sus investigaciones y sus proyectos todavía se encuentran en una fase preliminar. Pero su potencial es muy alto. Se especula incluso que la OTEC podría en un futuro solucionar el problema de las emisiones de CO<sub>2</sub> con un mayor desarrollo y optimización de este aspecto. Más aún podría resolver el problema del hambre en el mundo debido al incremento en la fertilidad de las aguas circundantes, que permitiría una mejora en el cultivo de piscifactorías. Todo ello también impulsaría la economía de los países del Segundo y el Tercer Mundo, dándoles energía y alimento.

Un dato a tener en cuenta. En un año la energía solar absorbida por mares y océanos es de unas 4 mil veces la energía que actualmente consume la humanidad.

### 3.8.2 MEJORAS DE LAS PLANTAS DE OTEC

Uno de los mayores problemas de este tipo de energía es su bajo rendimiento. En este campo, se están desarrollando mejoras tecnológicas tales como:

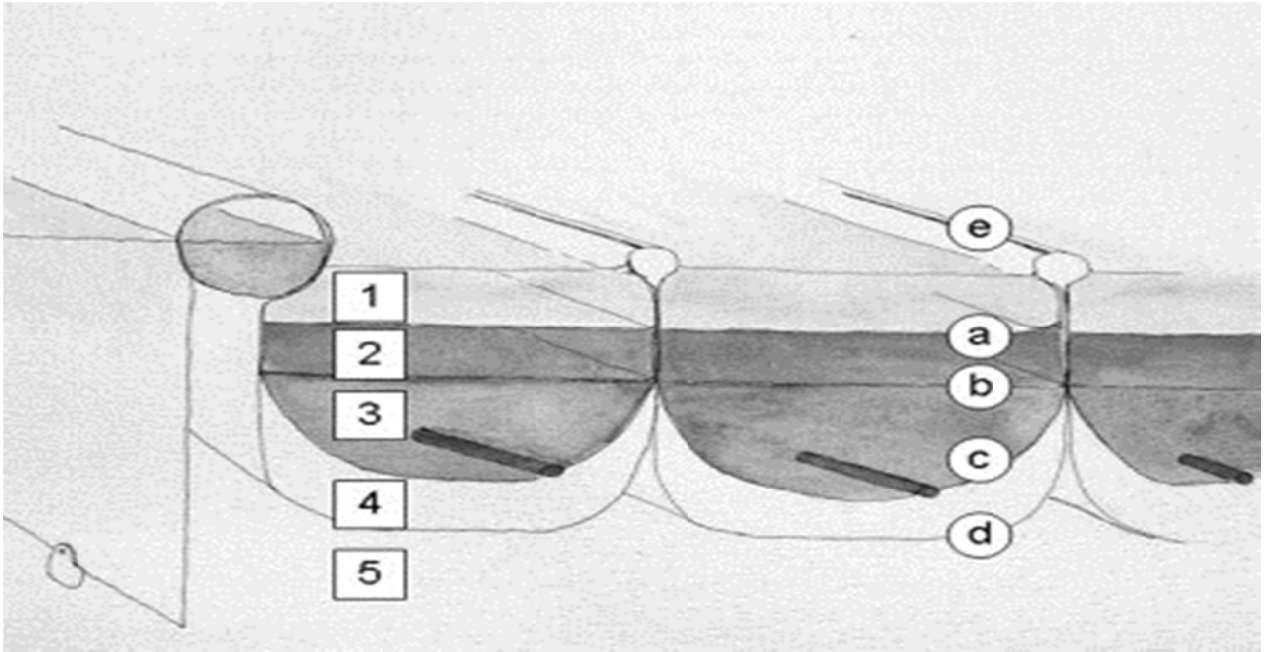
-Planta híbrida de OTEC con lagunas solares

Las lagunas solares son unos depósitos compartimentados en 4 capas que contienen agua con distintas concentraciones de sal, usada para aumentar la captación de energía solar. La capa más profunda de agua está saturada en sales, mientras que las dos intermedias contienen una concentración menor de sales, siendo la capa superior de agua marina.

Al incidir la luz del Sol en la laguna solar, calienta el agua de ésta. Sin embargo, en vez de escaparse el calor a través de la convección del agua más caliente hacia arriba, el gradiente descendiente de densidad del agua (más densa en el fondo al tener más sales) atrapa todo el calor en el fondo de la laguna solar. Esta concentración de calor ampliaría la diferencia de temperatura necesaria para la extracción de energía eléctrica, mejorando el rendimiento neto de un ciclo cerrado Rankine desde un 3% a un 12%, un incremento muy significativo para una planta de OTEC.

Este sistema se podría construir en la costa, usando además agua de mar para la laguna solar, reduciendo los costes de construcción y mantenimiento en gran medida. Muestra de ello es que el coste estimado de la generación de electricidad de baja potencia sería de 0.04 €/kWh

Figura 20: Lagunas solares artificiales Números: capas de agua según su salinidad Letras: láminas metálicas de separación.

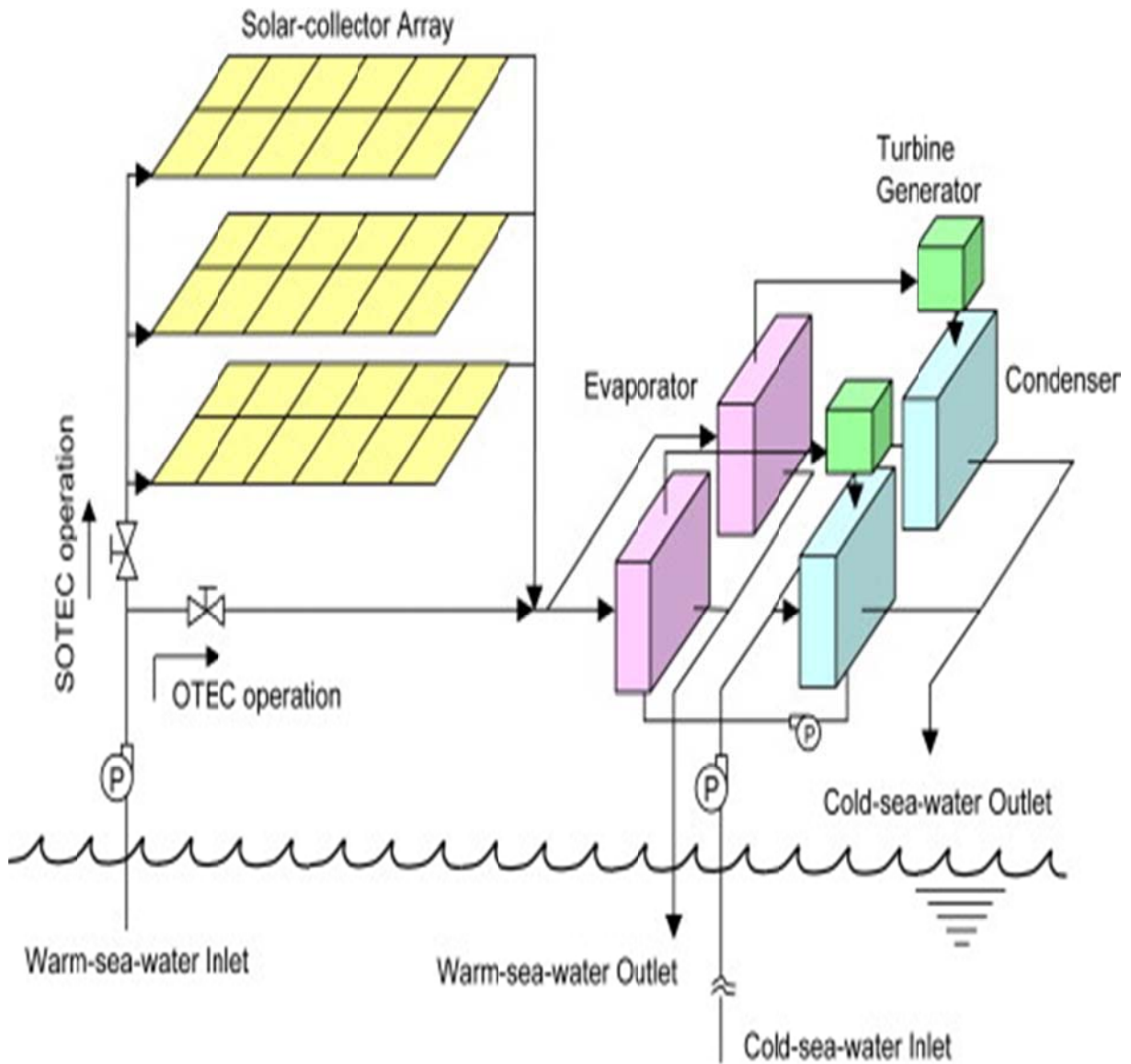


### 3.9 PLANTA DE OTEC POTENCIADA POR ENERGÍA SOLAR (SOTEC)

La SOTEC (*Solar boosted Ocean Thermal Energy Conversion*) se basa en la combinación de la energía térmica solar y la oceánica. Mediante un colector de gran tamaño, la radiación solar calienta el agua, elevando su temperatura en 20 °K aproximadamente. Esto expande la diferencia de temperatura que aprovecha la OTEC para la generación de energía, consiguiendo una producción de energía 2.5 veces mayor (dato experimental)

Estos datos se obtuvieron experimentalmente en una planta japonesa de investigación de OTEC de 100 kW de potencia situada en la isla de Kumejima, usando un espejo de 5000 metros cuadrados de área efectiva.

Diagrama 5: planta SOTEC.



### 3.10 SISTEMAS DE OTEC COMO COMPLEMENTO DE OTROS SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

Uno de los daños medioambientales que produce la energía nuclear es el aumento de la temperatura de la fuente de agua que utiliza para la refrigeración de su condensador. Por fortuna el "alimento" de una central de OTEC es el agua a alta temperatura y uno de los efectos de su proceso de generación de energía es el



enfriamiento del agua circundante. Esto reduciría el daño al medio producido por la energía nuclear y aumentaría la generación de energía de la planta de OTEC.

Las simulaciones por ordenador demuestran que el rendimiento de una planta OTEC con estas modificaciones vería su rendimiento aumentado en un 2% llegando al 11% de rendimiento neto.

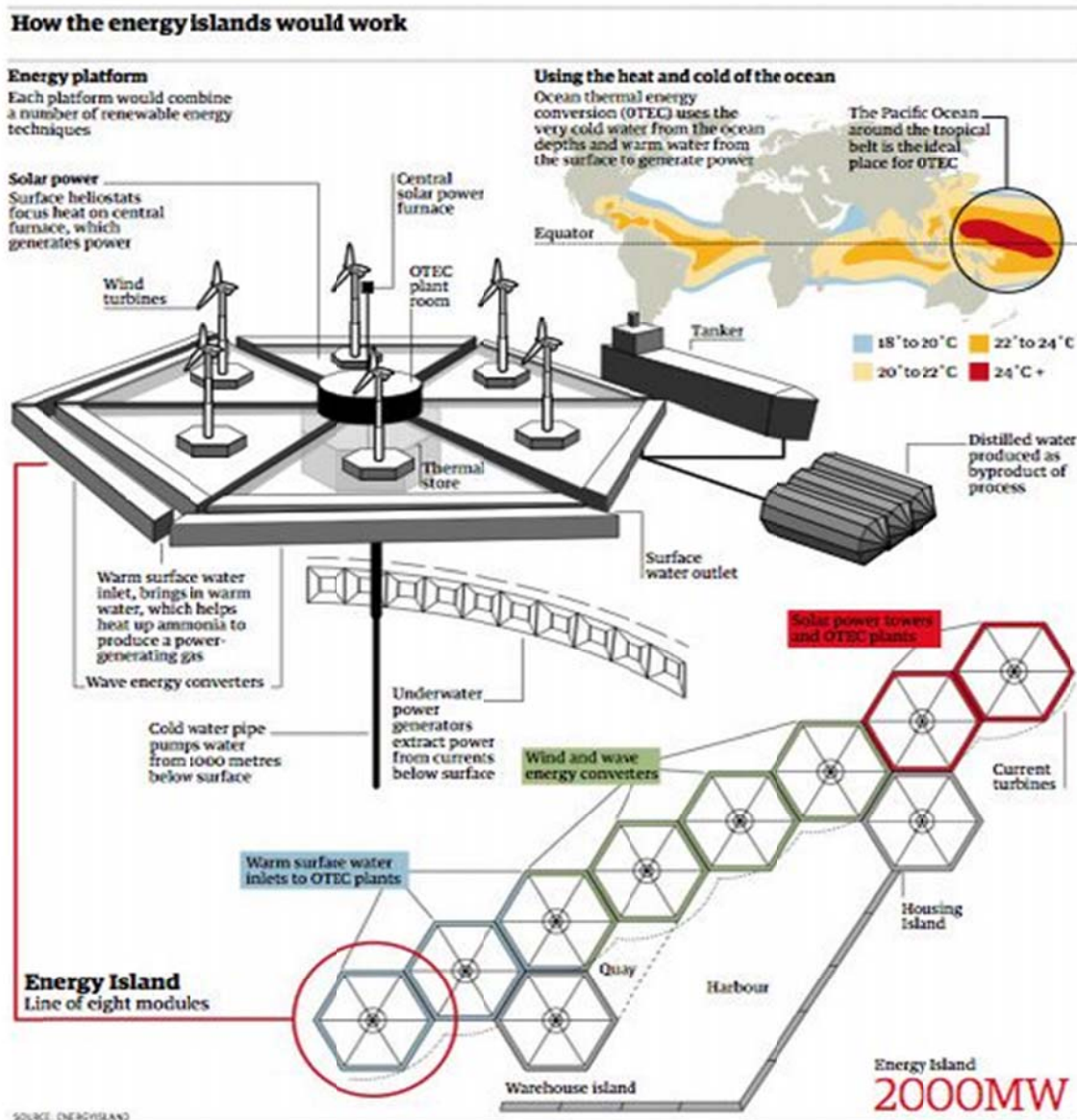
### Islas energéticas

La OTEC proporciona una cantidad limitada de energía libre de emisiones y agua dulce pero, ¿y si añadiéramos a la planta flotante aerogeneradores, placas fotovoltaicas, turbinas para aprovechar la energía de las olas y torres de energía térmica solar?

Tendríamos verdaderas islas con una producción de energía elevada, y debido al aporte de agua dulce, la cual podría usarse para invernaderos, también tendríamos alimentos. En un entorno así, los operadores de la maquinaria podrían subsistir en pleno Océano Pacífico (su ubicación ideal) sin necesidad de suministros exteriores. Se estima que cada uno de estos complejos de islas podrían producir en torno a 250 MW (nota: una cuarta parte de lo que produce una central nuclear convencional, aproximadamente).

Serían necesarias unas 50.000 construcciones de este tipo para abastecer la demanda energética mundial, pero este proyecto también abre interesantes alternativas. Las posibilidades de ciudades autosuficientes energéticamente en medio del océano, como las desarrolladas en el Proyecto Seascope 1 y el Proyecto Aquarius.

Esquema 2: de una Isla energética.



### Proyecto Bosque del Sahara

Mediante la combinación de la OTEC en los invernaderos de agua de mar (Nuevos usos de la tecnología de OTEC), la energía solar (tanto térmica como fotovoltaica) y del cultivo de algas a partir del agua dulce extraída de la OTEC, este proyecto propone la creación de colonias autosuficientes en localizaciones hasta ahora inhabitables, tales como el desierto del Sahara, que le da nombre. Una de las

zonas que cumple las condiciones de alta radiación solar, poca humedad y baja altura con respecto al mar, óptimas para este proyecto, es la provincia de Murcia, España.

Figura 21: Proyecto Bosque del Sahara

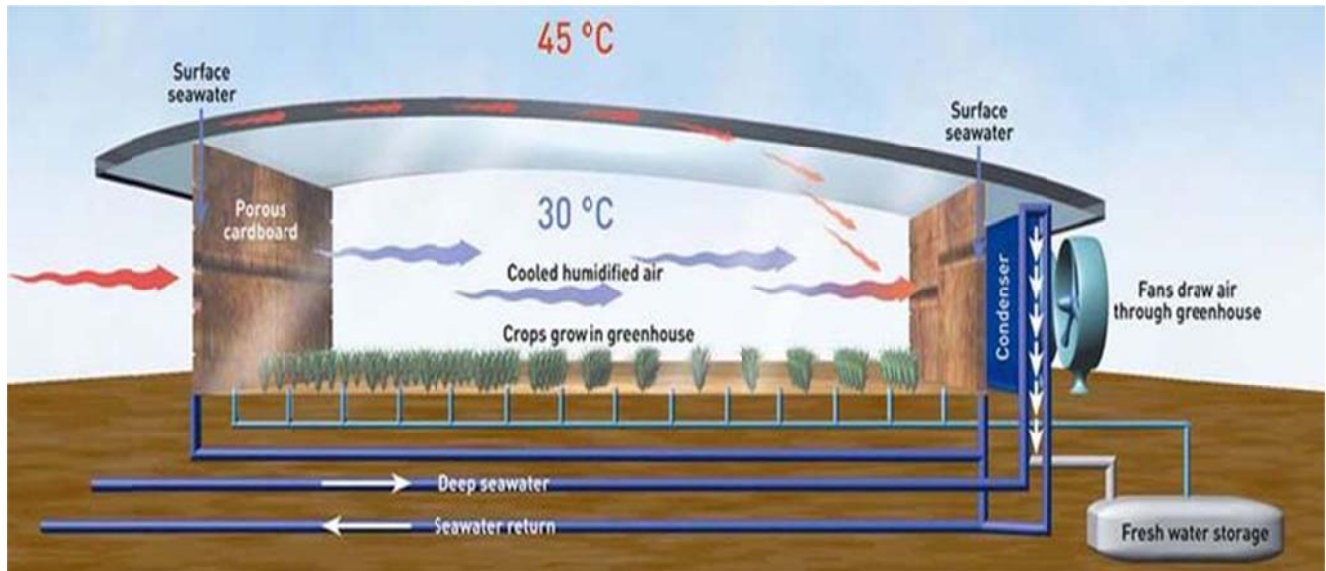


### 3.10.1 INVERNADEROS DE AGUA DE MAR

Esta tecnología, centrada en el cultivo de vegetales en áreas desérticas y cercanas a la costa, podría impulsar la economía local de muchos países africanos. Está basada en un ciclo cerrado y centrado en la desalinización del agua para el regado. Su funcionamiento es el siguiente: El agua del océano llega al invernadero y circula a través de las paredes, evaporándose y creando un ambiente húmedo y fresco en el interior. Parte del agua evaporada es entonces condensada como agua dulce para alimentar los cultivos.

Se debe resaltar que este sistema no está pensado para generar energía, pero ello también sería posible con sólo incorporar una turbina al circuito.

Figura 22: invernaderos de agua de mar.



### 3.10.2 SISTEMA ASESINO DE HURACANES

La formación de los huracanes, ciclones y tifones requiere de una alta temperatura del agua marina sobre la que aparecen. Y uno de los efectos colaterales de los sistemas OTEC es el enfriamiento de las aguas circundantes. El Sistema Asesino de Huracanes fue propuesto en 2009 por Bill Gates y se compone de varias patentes en las cuales el antiguo dueño de la empresa Microsoft aparece como inventor. Este sistema utiliza parte de la tecnología de OTEC, estando compuesto el navío asesino de huracanes de dos tuberías, una de las cuales sumergiría el agua caliente de la superficie debido a la presión de las olas circundantes al navío; y la otra que permitiría la subida de agua fría desde las profundidades del océano.

Este sistema desplegaría en torno a dos centenares de navíos asesinos en la

trayectoria estimada del huracán, drenando el calor del agua y debilitándolo a su paso por aguas más frías.

Capítulo IV: integración de  
las OTEC con la  
producción de hidrógeno,  
agua potable y salmueras  
marinas.

## CAPÍTULO IV INTEGRACIÓN DE LAS OTEC CON LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO, AGUA POTABLE Y SALMUERAS MARINAS.

### 4.0 PRODUCTOS RESULTANTES DE OTEC

La conversión de energía océano-termal o termoceánica, (OTEC), por sus iniciales en ingles) es una fuente de energía renovable de base continua particularmente apropiada para zonas tropicales. La misma no depende de combustibles o energía nuclear, no es vulnerable a fluctuaciones en los mercados mundiales y tiene impactos ambientales menores que otras fuentes de energía.

OTEC utiliza la energía térmica almacenada en el océano para generar electricidad en forma continua. Puede funcionar en zonas donde la diferencia en temperatura entre la superficie del océano y el agua del fondo es igual o mayor de 20°C (36°F) y donde el ambiente marino permita la operación estable de un sistema. En efecto, lo que se hace es recuperar parte de la energía solar recibida por el océano.

Su principal aplicación es en zonas tropicales donde el mar es profundo. Una de sus mayores ventajas es que permite la co-producción de agua potable (mediante desalinización) junto a la de electricidad. Es posible producir hasta 2 millones de litros por día , equivalente a alrededor de 0.5 millones de galones por día por cada megavatio de electricidad generada.

Debido a que OTEC no utiliza combustibles, la electricidad generada tiene un costo fijo, por lo que no es susceptible a la volatilidad de costos que afecta a fuentes como el petróleo, el carbón y el gas natural. Además de esto, el impacto ambiental es menor que el de otras fuentes, porque no se generan contaminantes atmosféricos ni gases de invernadero. Estos aspectos han causado un resurgimiento del interés en OTEC.

Esencialmente, una planta OTEC consiste en una máquina térmica que convierte el calor en trabajo mecánico por medio del aprovechamiento del gradiente de temperatura entre una “fuente” caliente y un “sumidero” frío. Aunque las diferencias en temperatura son menores, el principio es el mismo que en una máquina de vapor.

#### 4.1 PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A TRAVÉS DE ENERGÍA TÉRMICA OCEÁNICA CONVERSIÓN DEL SISTEMA OPERATIVO A UNA CAÍDA DE LA TEMPERATURA ÓPTIMA

El almacenamiento de la energía eléctrica producida a partir de una conversión de energía térmica oceánica (OTEC) del sistema se considera extremadamente esencial, ya que el proceso de conversión podría tener lugar en un área de alta mar remoto y distante de los sitios de utilización real.

Conversión de la energía de un sistema de OTEC en energía de hidrógeno, que se utiliza para la generación de energía a través de las pilas de combustible, es un enfoque importante de almacenamiento de energía, para utilidades adicionales. En este trabajo, un análisis técnico de la producción de hidrógeno a través de un sistema de OTEC junto con una membrana de electrolito de polímero electrolizador (PEM), que es desarrollado internacionalmente por los japoneses de la red de energía limpia mediante la conversión de hidrógeno.

El análisis se llevó a cabo en un descenso de la temperatura óptima entre el fluido de trabajo y el agua de mar,  $\delta T_{op}$ . Además, el análisis se lleva a cabo a las diferencias de temperatura diferentes entre la superficie y el agua de mar profunda,  $\Delta T$ .



Los resultados calculados demuestran la importancia de la caída de la temperatura y la diferencia de temperatura en la salida de potencia eléctrica y la eficiencia de conversión. Por otra parte, la tasa real de producción de hidrógeno varió de  $2,5 \text{ N}\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  hasta  $60 \text{ N}\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  como  $\Delta T$  de  $5^\circ\text{C}$  a  $25^\circ\text{C}$ , respectivamente.

OTEC se considera que es una parte de la energía renovable las formas en que un proceso de conversión de calor se lleva a cabo entre la superficie del océano, que se expone al sol y la profundidad del océano, lo que representa el frío alcanzando en  $5^\circ\text{C}$ . Con un gradiente estable de temperatura entre la superficie del océano y su profundidad en lugares próximos al ecuador marginales y con los cambios de estación, un enorme potencial de la energía térmica se puede producir. Sin embargo, sólo una fracción de dicha energía se puede convertir en un trabajo útil mecánico o eléctrico. No obstante, el sistema de OTEC se considera como una de las principales fuentes de energía renovables en las regiones tropicales.

Uno de los mayores inconvenientes asociados con OTEC es cuando el proceso de conversión se lleva a cabo en un mar remoto área y distante de los sitios de utilización, que conduce a un desperdicio de energía.

Para superar este inconveniente, la conversión de la energía producida a partir de un sistema de OTEC en energía de hidrógeno mediante el proceso de la electrólisis, podría ser el enfoque más adecuado para la realización de la obtención del hidrógeno utilizando solamente fuentes de energía renovables. El hidrógeno, que posee características atractivas, tales como ser ambientalmente limpia, almacenables, transportables e inagotable, puede desempeñar un papel clave en el cumplimiento de la demanda mundial de energía.

Actualmente, la utilización de la energía de hidrógeno para ejecutar las células de

combustible para una generación de energía limpia, que puede ser explotada en muchos procesos industriales, servicios públicos y los sectores de transporte, se ha ganado una atención en todo el mundo.

Producción de hidrógeno mediante el proceso de electrólisis, donde el agua se divide en hidrógeno y oxígeno bajo cierta temperatura y presión, se considera que es menor en comparación con gas natural. Sin embargo, muchas empresas han estado participando activamente en el desarrollo de alta eficiencia, los electrolizadores de alta seguridad como alcalina y el polímero membrana de electrolito (PEM) electrolizadores. Por ejemplo, los investigadores de la red internacional japonesa de energía limpia mediante la conversión de hidrógeno (WE-NET) han participado activamente en el desarrollo de tecnologías a gran escala de producción de hidrógeno. Llevaron a cabo extensa obra en un método sólido de la electrólisis del agua de alta PEM, que ofrece una mayor eficiencia y un menor costo que los métodos convencionales de producción de hidrógeno. Además, se demostró la superioridad de electrolizadores PEM sobre electrolizadores alcalinos con respecto a el costo de hidrógeno producido, las temperaturas y presiones de funcionamiento y de espesor de membrana.

Para estudiar el proceso de electrólisis asociado con OTEC, Avery presentó un resumen de producción de metanol a partir de carbón en una plataforma OTEC o la producción de amoníaco a partir de electrólisis del agua seguido por la reacción de hidrógeno con nitrógeno atmosférico.

Por otro lado, Wu llevados a cabo varios análisis de rendimiento termodinámico y la optimización de una OTEC planta de energía. Por otra parte, Twidell y Weir se presenta un excelente resumen de un sistema de OTEC con sus componentes relacionados, tales como intercambiadores de calor, el requisito de bombeo, así como prácticas consideraciones en cuanto a la construcción de las plataformas y tuberías frías y selección de las turbinas y fluidos de trabajo. Aunque Twidell y Weir se dirigió brevemente a las posibilidades del almacenamiento de hidrogeno a

través de un sistema de OTEC, ninguno de los estudios mencionados a cabo a detallado un análisis técnico de producción de hidrógeno por medio de potencia generados a partir de un sistema de OTEC para el almacenamiento de energía.

Un análisis técnico de la producción de hidrógeno a través de un sistema de OTEC, junto con un electrolizador PEM, que es desarrollado por WE-NET. El análisis se llevó a cabo a una caída de la temperatura óptima entre el fluido de trabajo y agua de mar y en las diferencias de temperatura entre distintas superficies del océano y su profundidad. Por otra parte, el análisis tendrá en cuenta el límite teórico de un sistema de OTEC, en proceso real con un caso ideal.

#### 4.1.1 Modelo matemático

Temperatura diferencia de un sistema de OTEC se muestra en la fig. 1, representa la diferencia entre la temperatura caliente en el  $T_H$  superficie del océano, y la temperatura fría en la profundidad del océano  $T_C$ :

$$\Delta T = T_H - T_C$$

(1)

Diagrama 6: sistemas OTEC, junto con un electrolizador.

*A. Kazim / Applied Thermal Engineering 25 (2005) 2236–2246*

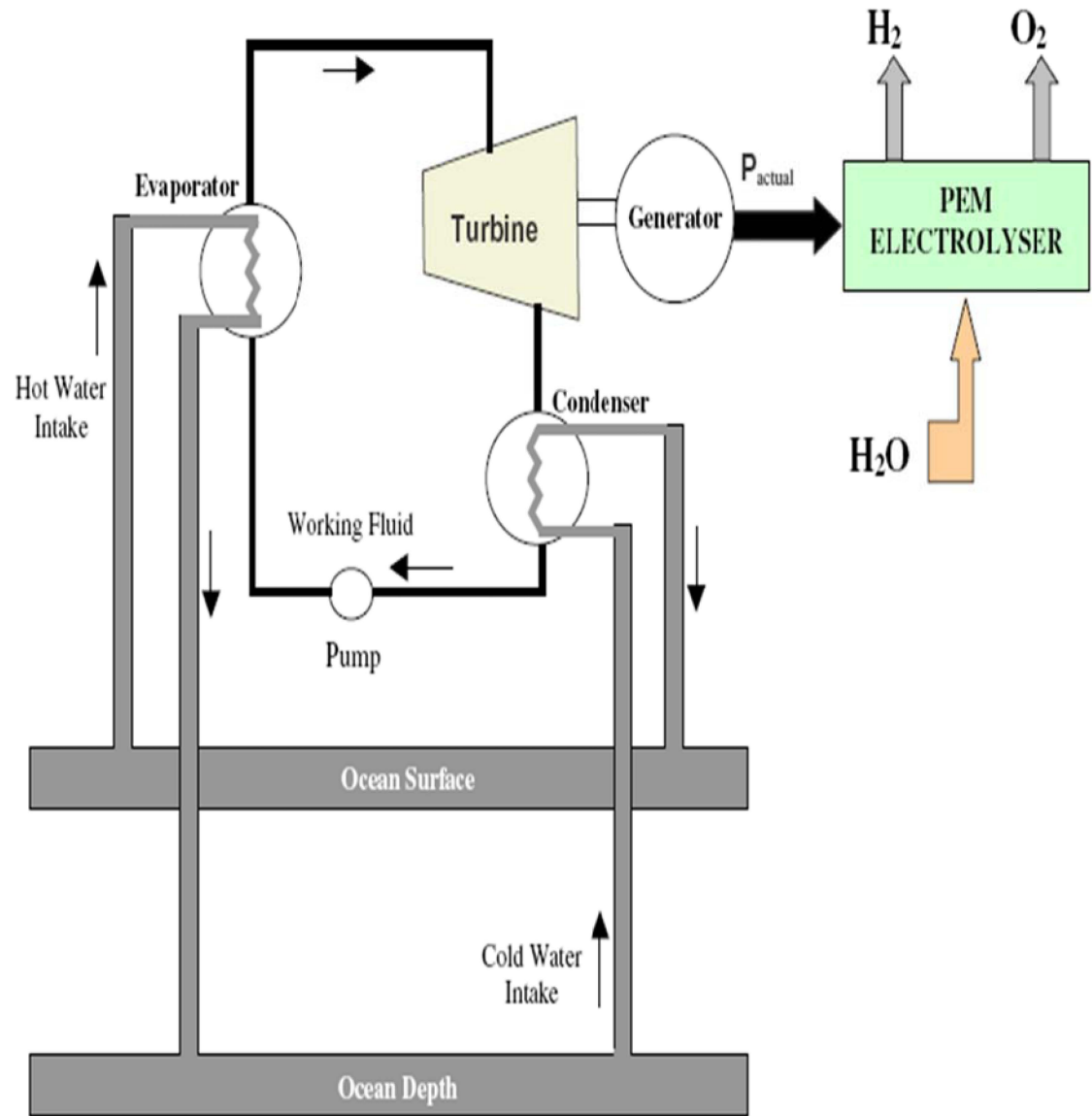


Fig. 1. Schematic diagram of an OTEC system coupled with a PEM electrolyser [12].

Suponiendo un intercambio de calor entre el agua de mar perfecto y el fluido de trabajo en el sistema de OTEC y sin descenso de la temperatura, la eficiencia de Carnot  $\eta_{Carnot}$  ideal, se puede expresar como :

$$\eta_{Carnot} = \left( \frac{\Delta T}{T_H} \right) \quad (2)$$

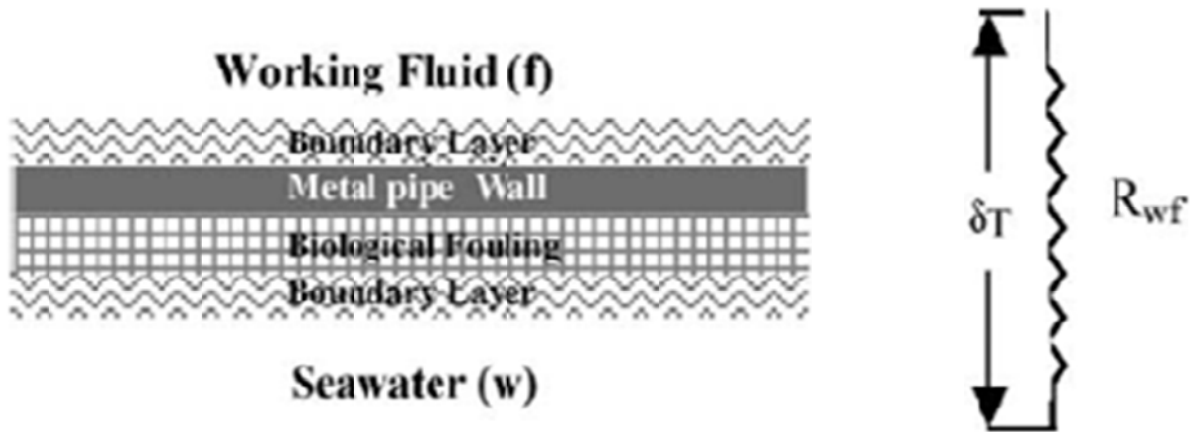
De manera similar, la potencia de entrada  $P_{ideal, in}$ , en, y  $P_{ideal, out}$  potencia de salida, hacia fuera, puede ser descrito como:

$$P_{ideal, in} = \rho c \dot{Q} \Delta T$$

$$P_{ideal, out} = \eta_{Carnot} P_{ideal, in} = \left( \frac{\Delta T}{T_H} \right) (\rho c \dot{Q} \Delta T) = \frac{\rho c \dot{Q} \Delta T^2}{T_H} \quad (3)$$

Donde  $\rho$ ,  $c$  y  $Q$  son la densidad, el calor específico y la tasa de flujo volumétrico del fluido de trabajo (agua), respectivamente. En realidad la transferencia de calor, entre el agua de mar y el fluido de trabajo en el intercambiador de calor a saber, evaporador y el condensador se considera que es imperfecta debido a la aparición de conductor resistencia entre las dos corrientes de fluido, como se representa en la figura.2. Por lo tanto, una temperatura,  $\delta T$  se introduce para representar diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo y agua de mar.

Figura 23: resistencias al flujo de calor a través de un intercambiador de calor



La salida real de energía mecánica puede ser definida con respecto a la diferencia de temperatura, la temperatura y la resistencia térmica entre el agua de mar y el fluido de trabajo,  $R_{WF}$

$$P_{act,out} = \left( \frac{\Delta T - 2\delta T}{T_H} \right) \left( \frac{\delta T}{R_{wf}} \right) = \frac{\Delta T \delta T - 2\delta T^2}{T_H R_{wf}} \quad (4)$$

La producción de potencia de salida máxima se puede lograr en una condición que tiene una óptima caída de temperatura, que está determinada por la diferenciación de la ecuación anterior con respecto a  $\delta T$  tal que:

$$\frac{dP_{act,out}}{d(\delta T)} = \frac{\Delta T - 4\delta T}{T_H R_{wf}} = 0 \quad (5)$$

Resolviendo la ecuación anterior para  $\delta T$  para producir el descenso de la temperatura óptima en función de la temperatura diferencia de  $\Delta T$ :

$$\delta T_{op} = \frac{\Delta T}{4} \quad (6)$$

Sustituyendo en la ecuación  $\delta T_{op}$ . Para dar el rendimiento óptimo de energía mecánica que puede ser producido:

$$P_{act,out} = \left( \frac{\Delta T - 2\delta T_{op}}{T_H} \right) \frac{\delta T_{op}}{R_{wf}} = \frac{\Delta T^2}{8T_H R_{wf}} \quad (7)$$

De manera similar, entrada de potencia real y la eficiencia de conversión basada en la caída de la temperatura óptima pueden ser representadas en las siguientes formas :

$$P_{act,in} = \frac{\delta T_{op}}{R_{wf}} = \frac{\Delta T}{4R_{wf}}$$

$$\eta_{act} = \frac{P_{act,out}}{P_{act,in}} = \frac{\Delta T - 2\delta T_{op}}{T_H} = \frac{\Delta T}{2T_H} \quad (8)$$

La eficacia real se ha descrito anteriormente puede estar relacionada con la eficiencia de Carnot, que se considera que es la eficiencia ideal teórico de una máquina térmica:

$$\eta_{Carnot} = \frac{\Delta T}{T_H} = 2\eta_{act} = 1 - \frac{T_C}{T_H} \quad (9)$$

El flujo volumétrico del fluido de trabajo, Q puede estimarse como una función de la potencia de entrada real y el descenso de la temperatura óptima,  $\delta T_{op}$ :

$$\dot{Q} = \frac{P_{act,in}}{\rho c (\Delta T - 2\delta T_{op})} = \frac{2P_{act,in}}{\rho c \Delta T} \quad (10)$$

El sistema OTEC muestra en la fig. 1 que está acoplado con un electrolizador PEM, que desarrollaron los japoneses WE-NET. El electrolizador es capaz de producir hidrógeno y oxígeno a las tasas máximas respectivas de 3000 N m<sup>3</sup> H<sub>2</sub> / h y 1500 N m<sup>3</sup> de O<sub>2</sub> / h.

Además, la estima de agua necesaria para el electrolizador como se informó de que  $Q_{H_2O,elecciones} = 0.8 \frac{1}{Nm^3}$  de  $H_2$ . Para ejecutar el electrolizador, un  $4,3 \text{ kW h / Nm}^3$  de  $H_2$  de la producción de energía de un sistema de OTEC se requiere.

Lo que debe subrayarse es que el agua requerida para el proceso de electrólisis es agua fría en vez de agua de mar, que podría ser perjudicial debido a su alta salinidad.

La tasa de producción de hidrógeno  $Q_{H_2,elec}$ ; se puede describir como una función de la potencia de salida de un sistema OTEC, si se trata de la potencia de salida ideal o real:

$$\dot{Q}_{H_2,elec} = \frac{P_{out}}{\dot{W}_{elec}} \quad (11)$$

De manera similar, la tasa de producción de oxígeno se puede describir de la siguiente forma:

$$\dot{Q}_{O_2,elec} = \frac{P_{out}}{2\dot{W}_{elec}} \quad (12)$$

Tasa de consumo de agua para el proceso de electrólisis es el producto de la tasa de producción de hidrógeno y el agua requerida para el proceso de electrólisis:

$$\dot{Q}_{H_2O,elec} = \dot{Q}_{H_2,elec} Q_{H_2O,elec} = \left( \frac{P_{out}}{\dot{W}_{elec}} \right) Q_{H_2O,elec} \quad (13)$$

La proporción real de la tasa de flujo del fluido de trabajo en el sistema operativo OTEC es óptimo en la caída de la temperatura sobre la tasa de consumo de agua en el proceso de electrólisis, se puede expresar como:



$$\left(\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{H_2O,elec}}\right)_{actual} = \frac{\left(\frac{2P_{act,in}}{\rho c \Delta T}\right)}{\left(\left(\frac{P_{act,out}}{\dot{W}_{elec}}\right) Q_{H_2O,elec}\right)} = \frac{\left(\frac{2P_{act,in}}{\rho c \Delta T}\right)}{\left(\left(\frac{P_{act,out}}{\dot{W}_{elec}}\right) Q_{H_2O,elec}\right)} \quad (14)$$

Y, la relación ideal puede ser descrito como:

$$\left(\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{H_2O,elec}}\right)_{ideal} = \frac{\left(\frac{2P_{ideal,in}}{\rho c \Delta T}\right)}{\left(\left(\frac{P_{ideal,out}}{\dot{W}_{elec}}\right) Q_{H_2O,elec}\right)} \quad (15)$$

Todas las propiedades termo-físicas que se utilizan en el análisis actual se han tomado de las obras publicadas y las condiciones de funcionamiento del sistema de OTEC, así como el electrolizador se presentan en Tabla 3.

Tabla 3: PROPIEDADES A CONDICIONES ESTANDAR.

Propiedad	Valor
Densidad del agua	1000 kg/m <sup>3</sup>
Agua en el calor específico.	4.2 kJ/kg K
La resistencia térmica entre el agua y el líquido en el sistema de OTEC	1x10 <sup>6</sup> k/w
Temperatura en el fondo del mar	5°C
Potencia requerida de entrada al electrolizador.	4.3 kWh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>
Agua requerida para la electrolisis. electrolizador la eficiencia de conversión	0.81 Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> 87%

Fig3. Representa tanto de entrada de alimentación ideal y real y la salida del sistema de OTEC basado en el descenso de la temperatura óptima,  $\delta T_{op}$ . La potencia de salida real puede variar desde un mínimo de 11 kW a  $\Delta T = 5^\circ C$  a tan alta como 258 kW a  $\Delta T = 25^\circ C$ . Por otro lado, la entrada de potencia real oscila a partir de 1250 kW a  $\Delta T = 5^\circ C$  a 6250 kW a  $\Delta T = 25^\circ C$ . Sin duda, la magnitud de

un poder real de entrada es mucho mayor que la potencia de salida real como resultado de las elevadas pérdidas que se plantean en la conversión térmica del proceso. Sin embargo, esta baja magnitud de la potencia de salida real se considera todavía que sea suficiente para alimentar el electrolizador para la producción de hidrógeno.

El análisis actual se realiza sobre la base de la caída de temperatura óptima entre el agua de mar y el fluido de trabajo. Sin embargo, la entrada de alimentación ideal y de salida puede ser calculada suponiendo un intercambio de calor entre el agua de mar perfecta y el fluido de trabajo. Obviamente, esta situación se considera que no es realista debido a la existencia de resistencia al calor entre el agua marina y el fluido de trabajo en el intercambiador de calor.

Se observa que la magnitud de  $P_{ideal}$ , es el doble de la magnitud de  $P_{acto}$ , en ya que el rendimiento de Carnot ideal es el doble de la eficiencia real se ilustra en la ecuación.

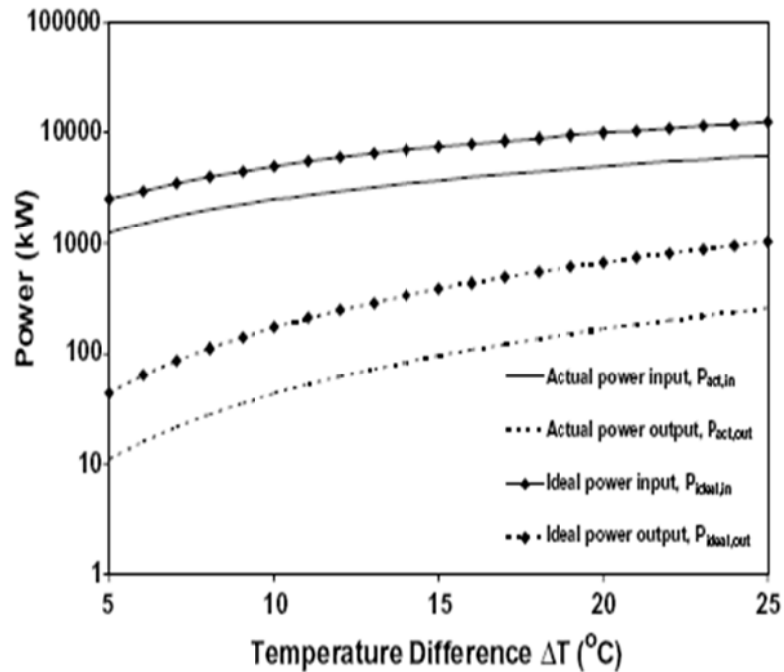


Fig. 3. Actual and ideal power output of an OTEC system at various temperature differences.

A fin de cubrir una amplia gama de diferencia de temperatura,  $\Delta T$  el presente estudio se realiza a una diferencia de temperatura entre 5 y 25°C. Este rango de temperatura es ligeramente mayor que la diferencia de temperatura máxima que podría producirse en las regiones tropicales. En realidad, un máximo diferencial de temperatura de 22 ° C existe en las regiones de Hawái, Puerto Rico y el Golfo de México.

El flujo volumétrico del fluido de trabajo en el motor térmico,  $Q$  se calcula que es de aproximadamente 0,12 m<sup>3</sup> / s a través de la ecuación. (12). Aunque este valor se plantea a ser bastante grande, se considera adecuado para un sistema de OTEC, que requiere un gran caudal a fin de obtener una salida de potencia razonable.

Por lo tanto, los mecanismos implicados en tales sistemas se consideran extremadamente costosos.

En el análisis, resistencia al calor entre el agua de mar y el fluido de trabajo se seleccionó en un típico valor de  $R_{WF} = 1 \times 10^{-6} \text{ K / W}$ . Una mayor resistencia térmica definitivamente dará lugar a una potencia inferior de salida. Por ejemplo, una resistencia al calor de  $R_{WF} = 1 \times 10^{-5} \text{ K / W}$  reducirá la potencia de salida por 10 pliegues, y viceversa. Así, con el fin de maximizar la potencia de salida, los tubos en los intercambiadores de calor debe estar hecha de metales de buenos conductores y que debe ocupar una gran superficie. Además, los tubos deben ser de un material que pueda proporcionar una alta resistencia a la corrosión, que es causada principalmente por agua de mar y el fluido de trabajo.

En un descenso de la temperatura óptima, la eficiencia de conversión  $\eta_{\text{actual}}$  real es de 50% de una eficiencia ideal  $\eta_{\text{Carnot}}$ , tal como se expresa en la ecuación. (11) y demostrado en la figura.4. El rendimiento real varía a partir de un valor mínimo de 0,9% a  $\Delta T = 5^\circ\text{C}$  a un valor máximo de 4,1% a  $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ . En general, bajas eficiencias de conversión en los sistemas de OTEC se observan en comparación con otras renovables fuentes de energía como la solar, hidroeléctrica y energía eólica. Esto se atribuye principalmente a la baja diferencias de temperatura entre la superficie del océano y su profundidad. No obstante, el sistema podría servir como una de las alternativas energéticas limpias más adecuadas que podrían ser explotadas en el extranjero.

A partir de los datos publicados, el electrolizador es capaz de producir hidrógeno y oxígeno en una tasa máxima de 3000 N m<sup>3</sup> / h y 1500 m<sup>3</sup> / h, respectivamente. Y con base en el electrolizador de conversión eficiencia de 87%, la tasa de producción de hidrógeno puede ser expresada con respecto a la cantidad de energía producida en el proceso de conversión.

Por lo tanto, la tasa real de producción de hidrógeno representada en la figura. 5 varía de 2,5 N m<sup>3</sup> / h (9,6 W) 60 N m<sup>3</sup> / h (225 kW) como la temperatura.

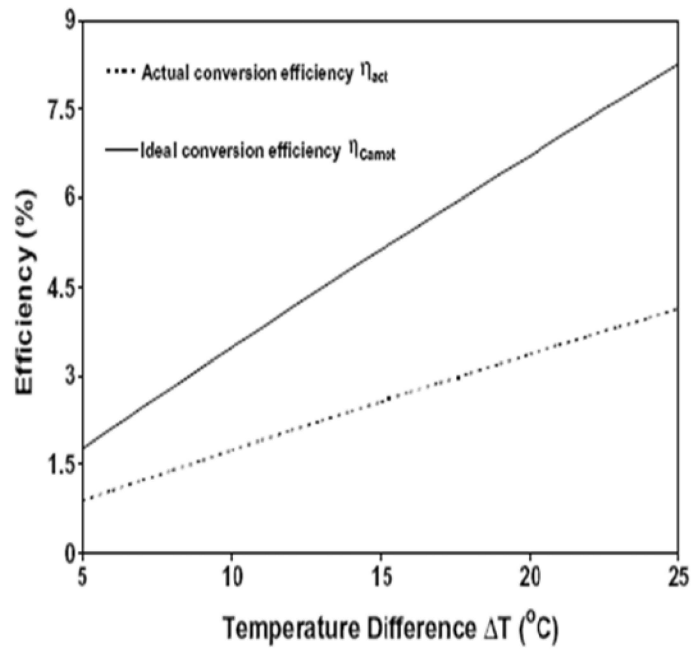


Fig. 4. Actual and ideal conversion efficiencies of an OTEC system at various temperature differences.

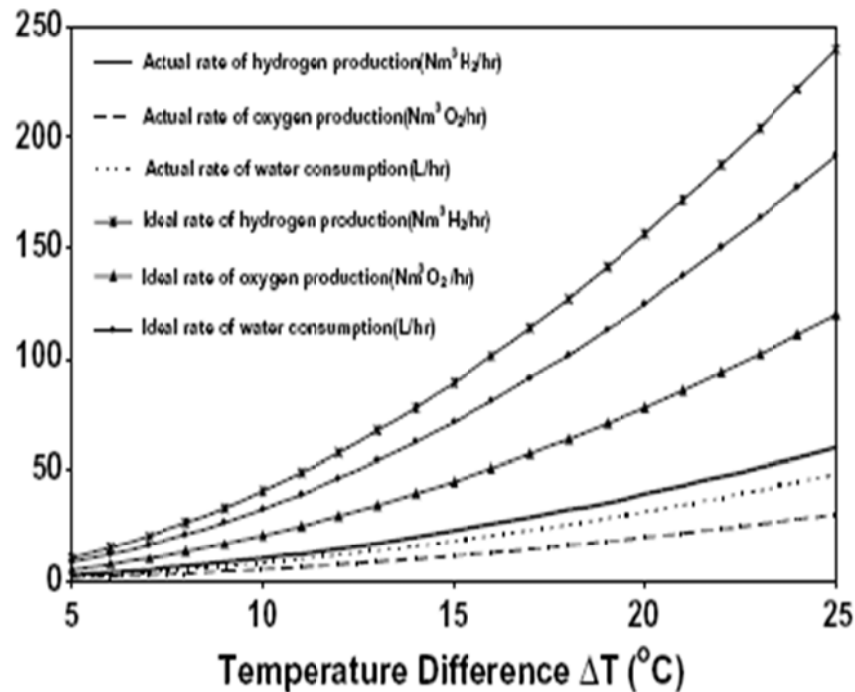


Figura 5

Aumenta la diferencia de 5 ° C a 25 ° C. Del mismo modo, la tasa real de consumo de agua varía de 2,05 l / h con  $\Delta T = 5$  ° C a 48 l / h con  $\Delta T = 25$  ° C. Es bastante obvio de estos resultados que el electrolizador seleccionado en el análisis es mucho mayor que la requerida para producir hidrógeno a los tipos anteriores. La tasa ideal de la producción de hidrógeno y oxígeno, así como el consumo de agua demostrado ser cuatro veces mayor que la tasa real como se muestra en Fig. 5. Esto se debe principalmente al uso de  $\delta T_{op} \frac{\Delta T}{4}$  en el análisis, y no sólo con el  $\Delta T$ , como un caso ideal.

El real y lo ideal  $\frac{Q}{Q_{H_2O,elec}}$  proporciones del sistema completo en las diferencias de temperatura son diferentes presentado en la figura. 6, que ilustra una diferencia significativa entre la magnitud  $y \frac{Q}{Q_{H_2O,elec}}$ .

La razón detrás de tal magnitud la diferencia es que  $Q$  se determina con base en el sistema de OTEC potencia de entrada, que es mucho mayor que su potencia de salida que se utiliza para ejecutar el electrolizador, a través del cual  $Q_{H_2O,elec}$  se calcula. Y este resultado es previamente verificado y demostrado en la figura. 3.

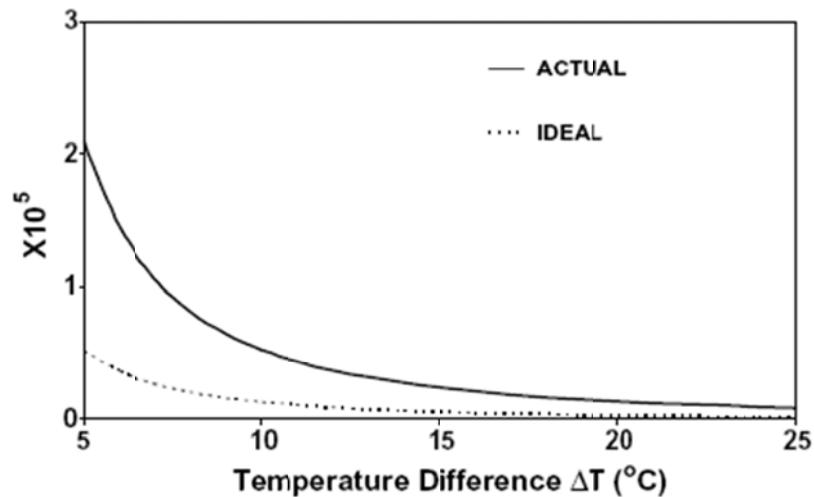


Fig. 6. Actual and ideal  $\frac{\dot{Q}}{Q_{H_2O,elec}}$  ratio at various temperature differences.

Cabe señalar que la relación  $\frac{\dot{Q}}{Q_{H_2O,elec}}$  ; disminuye a medida que se eleva  $\Delta T$  debido a una mayor  $Q_{H_2O,elec}$  ; requerida desde el aumento de la potencia de salida OTEC. Por otra parte, la proporción ideal se plantea en un 25% de los la relación real, puesto que la potencia requerida en el caso ideal es cuatro veces mayor que en el caso real operando a  $\delta T_{op}$ . En el sistema global, el agua fría que se utilice como un fluido de trabajo en el sistema de OTEC y el electrolizador. Sin embargo, el sistema podría ser mejorado mediante la adición de una unidad de desalinización del agua con el fin de convertir el agua de mar en agua dulce desde el OTEC y son los sistemas electrolizador colocado en alta mar y lejos de una fuente de agua dulce.

## EN CONCLUSIÓN:

- La caída de la temperatura óptima se estimó en 25% de la diferencia de temperatura entre la superficie del océano y su profundidad.
- La potencia de entrada real es mucho mayor que la potencia de salida real debido a las pérdidas que se plantean en el proceso de conversión térmica. No obstante, la magnitud de la potencia de salida real se considera todavía adecuado para alimentar el electrolizador PEM.
- La potencia de entrada y de salida son ideales dos veces y cuatro veces el caso real a una temperatura óptima caer, respectivamente. Sin embargo, la condición ideal se considera que es poco realista debido a existencia de una caída de temperatura entre el agua de mar y el fluido de trabajo.
- Una alta resistencia térmica bajará la salida de potencia y reduce la eficiencia de conversión. Por lo tanto, los tubos con mejores materiales deben ser seleccionados en términos de resistencia al calor y conductividad.
- El resultado calculado demostró que la salida de potencia y eficiencia sería mucho menos atractivo en una caída de temperatura que no sea el valor óptimo calculado.



Uno de los problemas de la OTEC es la pérdida de energía derivada del transporte, dada la gran distancia de la costa a la que suele estar una planta para generar energía. Esto puede solucionarse mediante el almacenaje de dicha energía en células de combustible de hidrógeno. Una planta de OTEC puede ser optimizada para la producción de hidrógeno con un mínimo descenso en su capacidad de generación de energía. Esta posibilidad puede ser muy interesante en un futuro, dado que actualmente asistimos al incipiente desarrollo de los motores de hidrógeno, que usan células de este combustible. Según los datos experimentales hallados por un equipo de investigadores japoneses usando un Electrolizador de Membrana Polimérica Electrolítica, el descenso de temperatura óptimo rondaría el 25%, reduciendo el rendimiento de la planta hasta un 6,7% (desde un 9,2% de rendimiento nominal). Sin embargo, debemos tener en cuenta que todas las pérdidas de energía derivadas del transporte desaparecerían. Por otro lado, la producción de hidrógeno estuvo comprendida entre los 2,5 N·m<sup>3</sup>/h a los 60 N·m<sup>3</sup>/h en función de que la diferencia de temperatura fuera de 5°C a 25°C. La elevación de agua fría para la refrigeración de las plantas OTEC también provoca la subida de CO<sub>2</sub> desde el fondo oceánico. Este gas, que está entre los principales causantes del efecto invernadero, puede ser almacenado (secuestrado) en reservorios subterráneos artificiales para que deje de retener calor en la Tierra. La extracción estimada de CO<sub>2</sub> es de 10.000 toneladas métricas por año y por MW mediante plantas de OTEC. Esta extracción de CO<sub>2</sub>, además de nutrientes del fondo oceánico, podría usarse además para el cultivo de piscifactorías o de algas y microorganismos que se alimenten de CO<sub>2</sub> para la creación de biocombustibles.

Aunque serían necesarios centenares de plantas de varios cientos de MW de potencia para neutralizar el efecto invernadero por completo, este nuevo uso convierte a la OTEC en algo más que una mera fuente de energía.

## BIBLIOGRAFÍA:

A.Kazim T.N Veziroglu "role of PEM fuel cell in diversifying electricity production in the united arab emirates , international journal of hydrogen energy".

B.Sorensen "renewable energy, its physics,engineering, environmrntal impacts."

Claude G."Poder de los mares tropicales" (1930).

Cousteau JY,Jacquier H "Energie des Mers"(1981).

Energía mareomotriz sitio web:<http://www.monografias.com>.

Ing. Paola Bianuci."Maquinas hidráulicas: energías renovables".

J.Res "oceánica OTEC los recursos"

J.Twidell, T.Weir."renewable energy resourses"UK(2000).

La Vega "economía de la conversión de energía termal oceánica "

La Vega,Nihous GC "en mar de prueba de la respuesta estructural de un tubo de gran diámetro unido a un buque de superficie".(1988)

M.Yamaguchi,T Shinohara "proceedings of XII Hydrogen energy ".

Matías Alonso Allende."Evaluación y estudio de alternativas de generación de energía eléctrica a partir del océano" (1981).

Nihous GC."Una evaluación preliminar de la conversión de energía termal"(2007).

R.Pelc.R,Fujita “renewable energy from ocean” marine policy (2002).

Rj. Seymour “recuperación de energía del océano”.

S.S Penner,”steps toward the hydrogen economy”

Sitio web:<http://www.worldenergy.org/wec-geis/focus/renew/trackrecord.asp>.

Sitio web:<http://www.biologiamarina.com/dev/projects/oceanografía.asp>.

T.Sato .A.Hamada.K Kitamura,”study of conceptual design for international clean energy”.

W.H.Avery “ocean thermal energy conversion”tercera edition

W.H.Avery,W.G Berl, “solar energy from the tropical oceans, international journal of hydrogen energy”(1999).

Y.Cengel, M boles , Thermodynamics \_an engineering approach, Mc Graw-hill.USA (2002).