



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

“PROPUESTA DE INFRAESTRUCTURA ENERGÉTICA BASADA EN EL  
HIDRÓGENO PARA MÉXICO (PROSPECTIVA PARA EL RESTO DEL SIGLO XXI)”

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA:

**LUIS GUIZAR RUBI**

TUTOR:

**M. EN I. SÁNCHEZ DIRZO RAFAEL**



**MÉXICO 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## *AGRADECIMIENTOS*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por haberme albergado y enseñado tanto durante este tiempo.*

*Agradezco de forma especial al M. en I. Rafael Sánchez Dirzo por su apoyo y guía en la realización de esta tesis. Además a los miembros de mi comité tutorial: DR. Alejandro Rogel Ramírez, M en M. Genaro Altamirano García, I.Q. Mariano Ramos Olmos y a la M. en I. María Estela de la Torre Gómez Tagle. Por sus comentarios y observaciones, las cuales sin duda alguna, contribuyeron significativamente en la mejora de este trabajo.*

*También quiero agradecer a todos los profesores que a lo largo de mi vida influyeron positivamente en mi formación académica, especialmente a los profesores de la FES ZARAGOZA por su enseñanza.*

## *DEDICATORIAS*

*A mis padres, Higinio Luis y M<sup>a</sup> Esther Guizar*

*Dedico este trabajo a las dos personas más importantes en mi vida, a los que amo. Este trabajo es por y para ustedes, que son lo más valioso que poseo. ¡Los amo!*

*Les agradezco por todo, ya que además darme la vida, me dieron una gran educación, su amor y comprensión incondicional y por el apoyo que me han brindado a lo largo de este camino.*

*A mi familia y amigos*

*Por acompañarme y a los amigos que he encontrado a lo largo de mi vida, con los que compartido alegrías y también tristezas.*

*A todos gracias, porque con su confianza y cariño me han ayudado a superarme día a día.*

# ÍNDICE

## CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES

1.1	INTRODUCCIÓN .....	8
1.2	JUSTIFICACIÓN .....	11
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
1.4	OBJETIVOS DE LA TESIS .....	12

## CAPÍTULO II RECURSOS DE ENERGÍA EÓLICA, SOLAR Y OCEÁNICA EN MÉXICO

2.1	REGIONES COSTERAS .....	14
2.2	RECURSOS SOLARES .....	15
2.3	RECURSOS EÓLICOS .....	18
2.4	RECURSOS OCEÁNICOS .....	20
2.4.1	Topografía de los océanos .....	20
2.4.2	Distribución de la temperatura del mar .....	20
2.4.3	Composición salina de los mares .....	22
2.5	INFRAESTRUCTURA ENERGÉTICA .....	23
2.6	SELECCIÓN DEL ESTADO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CENTRO COSTERO DE ENERGÍA.....	25
2.7	INFORMACIÓN SOBRE EL ESTADO DE OAXACA.....	27
2.7.1	Clima.....	27
2.7.2	Vías de comunicación .....	28
2.7.2.1	Carreteras .....	29
2.7.2.2	Ferrocarriles .....	29
2.7.2.3	Aeropuertos .....	30
2.7.2.4	Puertos .....	30
2.8	RECURSOS OCEÁNICOS DEL ESTADO DE OAXACA .....	30
2.8.1	Océano Pacífico .....	30
2.8.2	Distribución de la salinidad de los océanos .....	31
2.8.3	Corrientes y circulación .....	32
2.9	RECURSOS EÓLICOS DEL ESTADO DE OAXACA .....	34

2.9.1	Distribución de Recursos y Características del viento .....	37
2.9.2	Distribución diurna de la velocidad del viento .....	38

### **CAPÍTULO III PROPUESTA ARTÍSTICA-ARQUITECTÓNICA DEL CENTRO COSTERO DE ENERGÍA**

3.1	ENERGÍA EÓLICA.....	42
3.1.1	PARQUES EÓLICOS .....	43
3.1.2	Sistemas híbridos eólicos – solares .....	44
3.2	ENERGÍA SOLAR .....	45
3.2.1	Energía Solar Fotovoltaica .....	45
3.2.2	Las células fotovoltaicas (el efecto fotoeléctrico) .....	45
3.2.3	Paneles solares fotovoltaicos .....	45
3.2.4	CENTRAL FOTOVOLTAICA.....	46
3.3	ENERGÍA DE LAS OLAS Y LAS MAREAS .....	46
3.3.1	Central Mareomotriz.....	47
3.3.2	Columpio de las Olas de Arquímedes.....	48
3.3.3	El Dragón de olas.....	48
3.3.4	Central de Energía Océano-Termal (OTEC).....	48
3.4	ENERGÍA OSMÓTICA.....	50
3.4.1	Planta de Energía Osmótica .....	50
3.5	ELECTRÓLISIS DEL AGUA .....	52
3.6	Producción de sal por el método de evaporación solar de agua de mar .....	54
3.6.1	Concentración .....	54
3.6.2	Cristalización .....	54
3.7	GRANJA DE ACUICULTURA .....	50
3.8	DESCRIPCIÓN DEL CENTRO COSTERO DE ENERGÍA (CCE) .....	50
3.8.1	Central Eólica .....	52
3.8.2	Central Solar .....	54
3.8.3	Central Osmótica .....	54
3.8.4	Central de Energía Océano-Termal (OTEC) .....	54
3.8.5	Central de energía híbrida eólico-solar .....	58
3.8.6	Granja Acuícola .....	58

3.8.7	Planta productora de sal .....	58
3.8.8	Central de Electrólisis .....	59
3.8.9	Central Mareomotriz (TAPCHAN) .....	59
3.8.10	Dragón de las olas .....	59
3.8.11	Columpio de las olas de Arquímedes (AWS) .....	60
3.8.12	Estación Férrea .....	60
3.8.13	Central Eléctrica .....	60
3.8.14	Centro de almacenamiento de hidrógeno y oxígeno .....	60
CONCLUSIONES .....		62
BIBLIOGRAFÍA .....		64
ANEXO 1. GENERACIÓN ACTUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO .....		68
ANEXO 2. MEMORIA DE CÁLCULO .....		73
ANEXO 3. PRODUCCIÓN, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE HIDRÓGENO Y OXÍGENO .....		80
ANEXO 4. CELDAS DE COMBUSTIBLE .....		90

## ÍNDICE DE MAPAS Y FIGURAS

### CAPÍTULO II

<b>Mapa 1</b>	Estados Costeros de México .....	14
<b>Mapa 2</b>	Climas de México .....	16
<b>Mapa 3</b>	Temperatura mínima promedio .....	17
<b>Mapa 4</b>	Temperatura máxima promedio .....	17
<b>Mapa 5</b>	Irradiación solar media .....	18
<b>Mapa 6</b>	Recursos Eólicos .....	19
<b>Mapa 7</b>	Océanos de México .....	20
<b>Mapa 8</b>	Temperatura de los Océanos .....	21
<b>Mapa 9</b>	Salinidad en los mares del mundo .....	22
<b>Mapa 10</b>	Instalaciones de PEMEX .....	24
<b>Mapa 11</b>	Centrales terminadas o en construcción, 2010-2013.....	24
<b>Mapa 12</b>	Requerimientos de capacidad adicional, 2020-2025 .....	25
<b>Mapa 13</b>	Clima del Estado de Oaxaca .....	28
<b>Mapa 14</b>	Principales vías de comunicación del Estado de Oaxaca .....	28
<b>Mapa 15</b>	Corrientes marinas .....	31
<b>Mapa 16</b>	Oleaje del Estado de Oaxaca .....	34
<b>Mapa 17</b>	Altura del oleaje .....	34
<b>Mapa 18</b>	Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca .....	37
<b>Mapa 19</b>	Principales ríos de México .....	51
<b>Mapa 20</b>	Calidad del agua según indicador DQO 2011.....	52
<b>Figura 2.1</b>	Perfiles típicos de temperatura media en el océano abierto .....	21
<b>Figura 2.2</b>	Perfil típico de salinidad en el océano abierto.....	32

## CAPÍTULO III

<b>Figura 3.1</b>	Modelo general de un nodo costero .....	41
<b>Figura 3.2</b>	Componentes del aerogenerador .....	42
<b>Figura 3.3</b>	Central Eólica .....	43
<b>Figura 3.4</b>	Aerogeneradores flotantes .....	44
<b>Figura 3.5</b>	Plataforma flotante de energía hibrida .....	44
<b>Figura 3.6</b>	Central Fotovoltaica .....	46
<b>Figura 3.7</b>	Central Mareomotriz .....	47
<b>Figura 3.8</b>	Columpio de las Olas de Arquímedes .....	48
<b>Figura 3.9</b>	Dragón de las olas .....	48
<b>Figura 3.10</b>	OTEC .....	49
<b>Figura 3.11</b>	Planta Osmótica .....	50
<b>Figura 3.12</b>	Planta de electrólisis .....	53
<b>Figura 3.13</b>	Invernadero destilador .....	54
<b>Figura 3.14</b>	Proceso de la salmuera .....	55
<b>Figura 3.15</b>	Granja de acuicultura .....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II

<b>Tabla 2.1</b>	Principales Regiones Costeras de México .....	15
<b>Tabla 2.2</b>	Climas de México .....	16
<b>Tabla 2.3</b>	Centrales eólicas para la generación de electricidad 2012 .....	19
<b>Tabla 2.4</b>	Composición química promedio del agua de mar .....	23
<b>Tabla 2.5</b>	Características principales de los estados costeros de México .....	26
<b>Tabla 2.6</b>	Contenido de sales en los diferentes océanos y mares .....	31
<b>Tabla 2.7</b>	Potencial Eólico del Estado de Oaxaca .....	36
<b>Tabla 2.8</b>	Clasificación de la Potencia del Viento .....	36

### CAPÍTULO III

<b>Tabla 3.1</b>	Rango de trabajo de los aerogeneradores .....	42
------------------	---	----

# **CAPÍTULO I**

## **ASPECTOS GENERALES**

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Desde hace siglos se sabe que a las máquinas hay que alimentarlas con hidrocarburos para que puedan funcionar. En otras palabras, se conoce que la energía motriz que producen se origina con el calor de la combustión.

Hasta hace 200 años, la leña era la fuente primaria de energía que el hombre disponía para iluminarse, calentarse, protegerse y asar sus alimentos; aún hoy en día, la cuarta parte de la humanidad sigue utilizándola. Cuando el carbón sustituyó a la madera como combustible, provocó no sólo que las máquinas produjeran más trabajo sino que parió a la madre de todas las revoluciones de los siglos XIX, XX, y seguramente del XXI; las primeras máquinas térmicas fueron puestas a desalojar agua en minas inundadas; luego fueron acopladas a las fábricas, barcos y ferrocarriles; posteriormente se adaptaron a generadores, autos, aviones, submarinos y cohetes. De esta manera formas superiores de producción y distribución de bienes y servicios estaban ya en operación.

En la actualidad el petróleo y el gas natural alimentan el fuego que mueve aviones, barcos, helicópteros, trasatlánticos, lanchas, termoeléctricas, autobuses, tanques, calderas, estufas, portaaviones, camionetas, y hacen posible todo el sistema de iluminación artificial que hay en el mundo<sup>1</sup>.

Durante muchas décadas se creyó que las reservas de combustibles fósiles eran tan grandes que no era de temer el agotamiento de los yacimientos conocidos, o como mínimo el de los aun no explotados por ahora. Pero después de experimentar con el precio del crudo en máximos históricos y los efectos del calentamiento global mostrándose de forma cada vez más palpable en el planeta, el crecimiento exponencial de la población mundial y del aumento del nivel de vida, el cual va unido a un aumento adicional del consumo energético per cápita, con todo esto es de prever que se agotaran los yacimientos conocidos actualmente, lo cual nos conduce a la necesidad de una alternativa al consumo masivo de combustibles fósiles la cual se hace cada vez más necesaria.

Sólo las emisiones de las centrales eléctricas lanzadas al planeta entero son impresionantes. Si se suman las que el transporte genera, los contaminantes se cuantifican en miles de millones de toneladas al año. El disminuirlas conlleva el problema de quemar menos y utilizar más eficientemente el petróleo, carbón, gas natural y leña. Esto en sí sería un gran avance y significaría parte de la solución al problema. La otra parte lo es sin duda el desarrollo de las fuentes de energía renovables, particularmente obtener energía eléctrica de los mares, vientos y sol. Conociendo la naturaleza caótica de tales fuentes es necesario desarrollar técnicas para almacenar químicamente parte de su inmensa potencialidad.

Tal almacenamiento puede lograrse mediante el acoplamiento de los sistemas para adaptarse a las energías renovables y plantas de electrólisis de agua. Estas últimas pueden diseñarse para responder al carácter irregular y difuso de las primeras.

<sup>1</sup> Rafael Sánchez Dirzo, Chan-K' iin: Las fuentes de las energías renovables, México, FES Zaragoza, UNAM, Departamento de Ingeniería Química, 1998, pag.190.

Lo que conllevaría a abrir la posibilidad de plantear la producción masiva del hidrógeno en su función de combustible, debido a que una de las respuestas a esta crisis que se avecina es el uso de hidrógeno como fuente de energía y su transformación en electricidad por medio de las llamadas pilas de combustible.

En este modelo de desarrollo sostenible, las energías de origen renovable, son consideradas como fuentes de energía inagotables, y con la peculiaridad de ser energías limpias, con las siguientes características: suponen un nulo o escaso impacto ambiental, su utilización no tiene riesgos potenciales añadidos y son una alternativa a las fuentes de energía convencionales, pudiendo sustituirlas paulatinamente. Estas energías son principalmente; la Energía Solar, Eólica, Mareomotriz, Hidroeléctrica, entre otras.

Para conseguir la deseada tecnología no contaminante tendría que convertirse la energía eléctrica en el gas  $H_2$ , antes de su distribución. Esta conversión, no solo conseguiría un transporte más económico de energía, además evitaría muchas de las actuales dificultades que presenta la electricidad, como los cuellos de botella que se producen en el suministro de corriente a las aglomeraciones urbanas.

El término “Hydrogen Economy” apareció por primera vez en una reunión (1970) de Bockris, Triner y colaboradores en el “General Motors Technical Center 1980<sup>2</sup>”. En esta reunión se tomaron en consideración todos los combustibles que podrían sustituir en el transporte a la contaminante gasolina y la conclusión fue que el carburante futuro para todos los tipos de transporte será el  $H_2$ .

Así, el término economía del hidrógeno responde a una visión de futuro donde este gas, generado de forma limpia y económica, serviría para alimentar el grueso de las necesidades energéticas de la sociedad. Esta propuesta reduciría la dependencia actual sobre los combustibles fósiles, ya que el hidrógeno podría ser generado a partir de fuentes como las renovables. Igualmente se disminuiría la contaminación atmosférica y la emisión de gases de efecto invernadero, puesto que el único residuo generado por una pila de combustible es agua.

El  $H_2$  se puede transportar a través de tuberías, en cuyo caso deberá tomarse en consideración la adición de sustancias fuertemente odoríferas para facilitar la detección de fugas. Pero debe tenerse en cuenta que para ciertas distancias y flujos la conducción por tubería del hidrógeno no podrá ser rentable y que para estos casos deberán existir depósitos de acero para  $H_2$  a presión, que deber ser transportado al usuario desde el centro de producción o de distribución a donde lleguen gasoductos que permitan el llenado de estos, los cuales podrán ser transportados por carretera en camiones, ferrocarril o barco.

Cambiar a un sistema energético que sea independiente de los combustibles fósiles es, aunque difícil, obligado e inevitable, incluso el intento de aplazar este cambio unas décadas determinara la aparición de muchos problemas. La disponibilidad de las personas acerca de las nuevas formas de energía son los parámetros decisivos que pueden servir para evitar la catástrofe que se avecina.

<sup>2</sup> J. O'M. Bockris y Tiner, Chem. & Engng. News (octubre 1972).

Debido a lo anterior, este trabajo propone un manejo integral, sustentable y planeado de las costas mexicanas para la implementación de un Centro Costero de Energía que genere electricidad por hibridación de las energías renovables. Para lograr este objetivo, es necesario seleccionar zonas que reúnan características tales como: alto índice de radiación solar, velocidades elevadas de viento, tamaño de las olas e infraestructura física disponible.

Las tecnologías actuales en energías renovables hacen posible lo dicho anteriormente, además el centro costero podría fungir a futuro como un espacio de investigación para la mejora o invención de equipos.

En el Centro Costero de Energía, además de la obtención de hidrógeno para la generación de energía eléctrica, será posible contar con una parte de este y oxígeno para la industria, algunos productos adicionales que se obtendrán del mismo son: salmuera, cloruro de sodio, cloruro de magnesio, sulfato de calcio, entre otros que catalizarían el desarrollo sustentable de diversas fuentes de trabajo y desarrollo como; la acuicultura, redes de ferrocarril eléctrico y servicios para la industria eco-turística del país entre otras ventajas que la infraestructura energética basada en  $H_2$  traería a la nación.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA**

Debido a que en México existe una clara dependencia energética con respecto a los hidrocarburos y al ser estos una fuente no renovable, es obvio que es hora de ocuparnos de esta situación la cual puede tener solución al disponer como fuentes de energía permanentes como la energía atómica (que resulta ser muy contaminante) y/o las energías regenerativas como lo son: la solar, hidráulica, eólica y más recientemente la oceánica como posibles soluciones energéticas de larga duración.

Actualmente, ya existen planteamientos firmes para el desarrollo de Centrales de Potencia Híbridas Costeras (CPHC), las cuales pueden aprovechar de manera óptima y organizada los recursos naturales antes ya mencionados, los que existen de manera conjunta y natural en nuestras costas. El implemento de estas significaría no solo el terminar con la dependencia que existe en la actualidad hacia los hidrocarburos sino que además disminuiría por completo el problema de la contaminación.

Toda esta tecnología se basa en el  $H_2$  debido a que este cuenta con las características necesarias para sustituir a los hidrocarburos, para obtener como productos principales energía eléctrica, energía térmica, agua potable, oxígeno, hidrógeno y salmueras marinas.

## **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Un hecho reconocido pero no tenido en cuenta por mucho tiempo, es que en la Tierra los depósitos y la disponibilidad de combustibles fósiles son limitados, lo cual tiene como consecuencia que se tendrá que prescindir de manera forzosa de los combustibles fósiles en un futuro no muy lejano.

La necesidad de transportar energía a largas distancias, nos llevan al hidrógeno como futuro vector energético, debido a que este tiene las ventajas de poseer una tecnología de tipo comercial, su transporte resulta ser barato, además de poder ser empleado fácilmente en muchas aplicaciones y es absolutamente no contaminante, puesto que como producto final de su combustión produce agua.

Para superar estos inconvenientes en cuanto al transporte de energía se han desarrollado diferentes técnicas para almacenar la energía proveniente de las fuentes alternas de energía.

Una de ellas es la que nos interesa resaltar siendo conocida desde el siglo pasado y esta es: la electrólisis del agua (Wendt, 1990). Romper la molécula del agua requiere en teoría de 1.23 volts. Este relativamente bajo voltaje es el que permite que la energía de las fuentes renovables pueda ser almacenada en forma de hidrógeno.

La sustitución de los combustibles fósiles utilizados, así como el implementar instalaciones eólicas, marítimas y solares, representará sólo una parte del trabajo que se tendrá que realizar. El cual únicamente podrá ser posible en determinados puntos geográficos como lo serian en este caso algunas zonas selectas que se encuentran entre de los miles de kilómetros de costas mexicanas.

Debido al argumento anterior, en el presente trabajo se propone un Centro Costero de Energía renovable a base de Hidrogeno el cual se ubicará en alguna costa mexicana y contará además con los siguientes servicios: granja de acuicultura, planta productora de sales y redes de ferrocarril eléctrico.

#### **1.4 OBJETIVOS DE LA TESIS**

- Propuesta de nodos energéticos basados en la hibridación de las energías del sol, vientos y mares a lo largo de las costas mexicanas.
- Proponer Plot Plant que describan tales nodos.
- Realizar una propuesta artística-arquitectónica del Centro Costero de Energía descrito por el Plont Plant.
- Realizar los balances de masa y energía para una Central de este tipo de 10 GW.

## **CAPÍTULO II**

# **ENERGÍA EÓLICA, SOLAR Y OCEÁNICA EN MÉXICO**

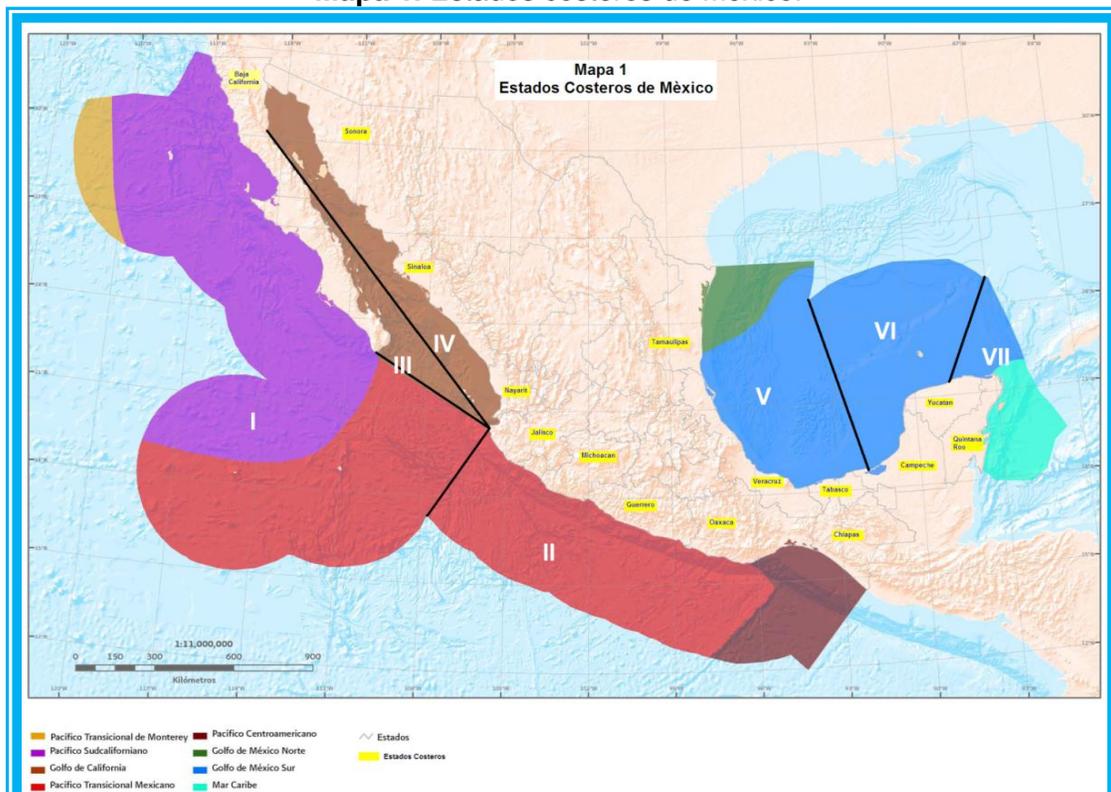
Para el desarrollo de este proyecto es necesario analizar los recursos naturales y la infraestructura energética con la que cuenta nuestro país. Una vez analizados estos datos, se procederá a seleccionar aquellas zonas que reúnan las características anteriormente mencionadas.

A continuación se analizarán brevemente los recursos, solares, eólicos, oceanográficos y de infraestructura energética de las costas mexicanas.

## 2.1 REGIONES COSTERAS

México es el decimocuarto país en el mundo por su extensión territorial debido a la longitud de su línea costera, las costas mexicanas abarcan una longitud total de más 11 000 km. Las cuales corresponden a las costas bañadas por el Océano Pacífico con 8 475.1 km y otra se abre a lo largo de 3 117.7 km hacia el Golfo de México y Mar Caribe. Sus aguas territoriales suman casi 3 millones de km<sup>2</sup>, comprendidas en la Zona Económica Exclusiva de México<sup>4</sup> (Padilla, Juárez y Propín 1997), (Mapa 1). Mientras que el mar territorial comprende un área de 231 813 km<sup>2</sup>, ambos en conjunto forman el Mar Patrimonial.

**Mapa 1. Estados costeros de México.**



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

<sup>3</sup>. incluye proyectos de electrificación rural, comunicaciones, etc., conectados o no al Sistema Eléctrico Nacional.

<sup>4</sup>. La Zona Económica Exclusiva con una superficie de 2 717 252 km<sup>2</sup> es la porción más amplia del Mar Patrimonial, espacio marino en el que México ejerce su soberanía tiene derechos y jurisdicción, cuyas riquezas sólo pueden ser explotadas por mexicanos. Mide 200 millas náuticas a partir de las costas y junto con el mar territorial, constituyen el llamado mar patrimonial. El mar territorial se encuentra adyacente a las costas del país y se prolonga en mar abierto hasta 12 millas náuticas (una milla náutica equivale a 1 852 m), por lo que ocupa una franja marina de 22.2 km. Este hecho se apoya en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y es aceptado por todas las naciones del mundo, ya que según el derecho internacional público, los países que tienen costas ejercen jurisdicción sobre estos mares territoriales.

En la siguiente tabla se mencionan las diferentes regiones del país, mostradas en el mapa y los estados costeros que comprenden cada región.

**Tabla 2.1.** Principales Regiones Costeras de México

<b>Región I</b>	Comprende la costa occidental de los estados de Baja California y Baja California Sur.
<b>Región II</b>	Esta región, considera desde Mazatlán hasta Guatemala, las costas del Estado de Jalisco (Cabo Corrientes), Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas hasta la frontera con Guatemala.
<b>Región III</b>	Comprende la costa oriental de los estados de Baja California, Baja California Sur y aproximadamente la mitad del Golfo de California.
<b>Región IV</b>	Comprende la costa occidental de los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit hasta Cabos Corrientes
<b>Región V</b>	Comprende los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y la sección media de la Laguna de Términos al oeste del estado de Campeche.
<b>Región VI</b>	Comprende los estados de Campeche (mitad de la Laguna de Términos) y Yucatán hasta Cabo Catoche en la sección noroeste del estado de Quintana Roo.
<b>Región VII</b>	Incluye la costa este de la Península de Yucatán desde Cabo Catoche en el estado de Quintana Roo hasta la frontera costera con Belice

Fuente: <http://cendo.ens.uabc.mx/>

Estos factores condicionan la importancia del espacio geográfico costero mexicano y la consideración del propio México en un lugar significativo entre los países costeros, por contar con un carácter bioceánico, que le permite tener comunicación con todo el mundo y conectarse a través de los puertos en donde convergen diversas rutas de transporte de carga y cruceros que forman parte de la base de intercambios territoriales de una cadena logística, que permiten también la circulación de las mercancías (cargas); en consecuencia favorecen las actividades económicas al conectar las áreas de producción con las áreas de consumo distribuidas en todo el mundo. Así mismo, producen beneficios sociales al propiciar interacción entre las poblaciones al emplear personas en las instalaciones portuarias, las zonas de carga, descarga y en el transporte.

## 2.2 RECURSOS SOLARES

En México el clima está determinado por varios factores, entre los que se encuentran la altitud sobre el nivel del mar, la latitud geográfica, las diversas condiciones atmosféricas y la distribución existente de tierra y agua. Por lo anterior, el país cuenta con una gran diversidad de climas, los cuales de manera muy general pueden clasificarse, según su temperatura, en: cálido, templado y de acuerdo con la humedad existente en el medio, en: húmedo, sub húmedo y muy seco. La siguiente tabla podemos observar la distribución del clima en el país, además de la precipitación anual y la temperatura promedio de los diferentes climas.

**Tabla 2.2.** Climas de México.

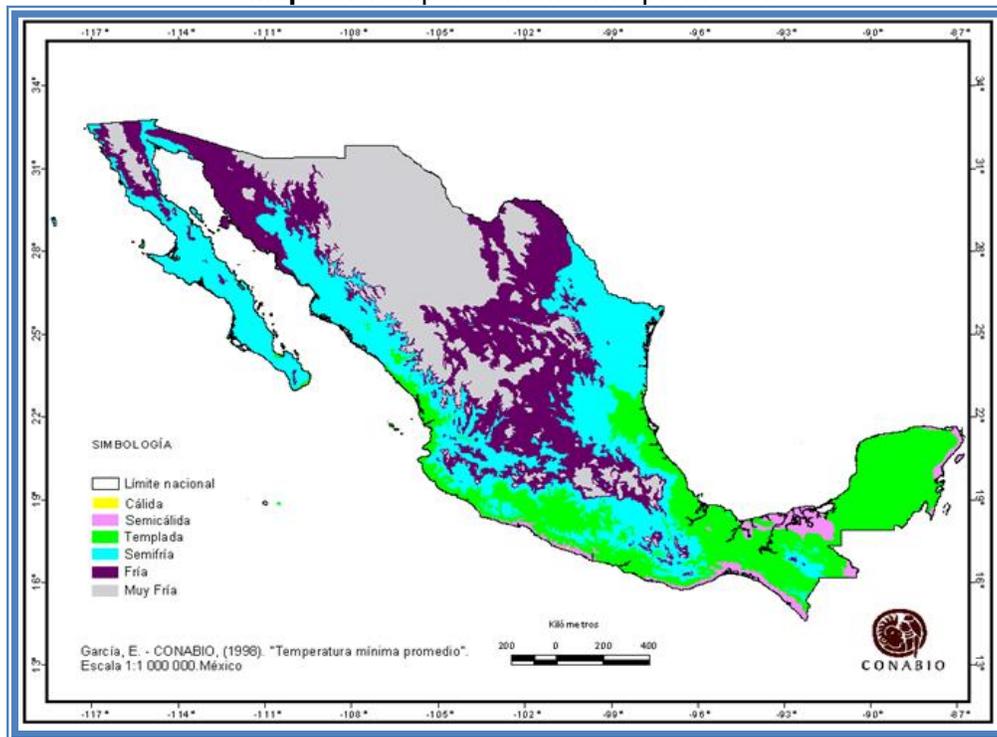
Clima	Distribución del clima en México (%)	Precipitación anual (mm)	Temperatura promedio (°C)
Seco	28.3	300 – 600	18 - 26
Muy seco	20.3	100 – 300	18 - 22
Cálido húmedo	4.7	2000 – 4000	22 - 26
Cálido sub húmedo	23	1000 – 2000	22 - 28
Templado húmedo	2.7	2000 – 4000	18 - 22
Templado sub húmedo	21	600 – 1000	10 - 22

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

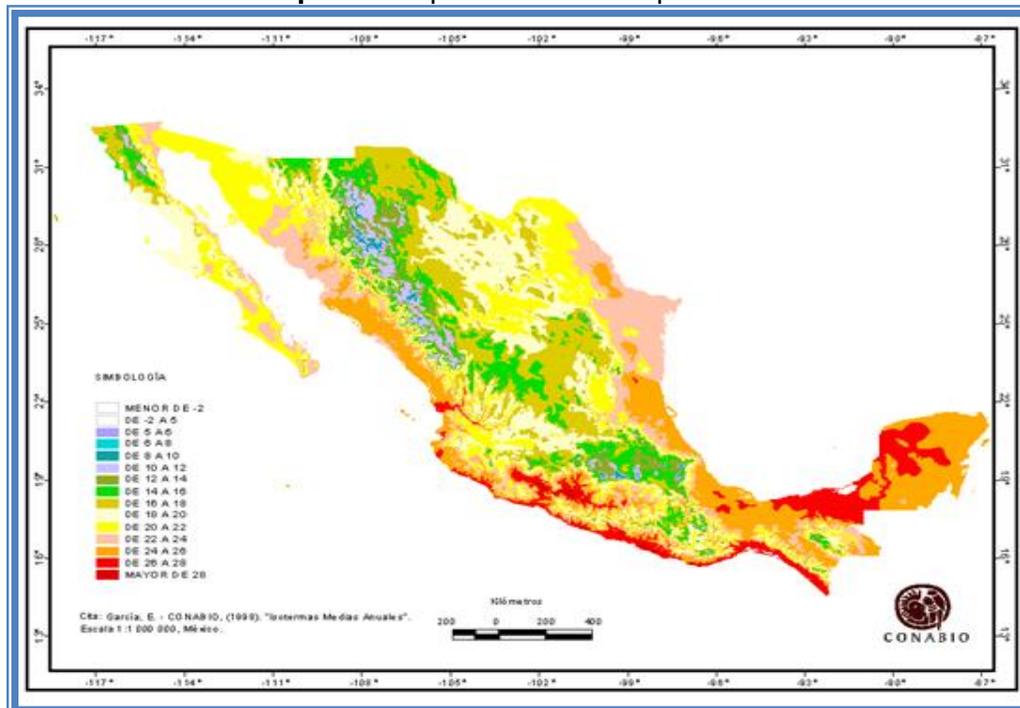
**Mapa 2.** Climas de México.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

A continuación se muestran los datos de las temperaturas mínimas y máximas promedio del país del año 2012, con el fin de analizar e identificar los estados costeros que cuentan con las temperaturas más altas durante todo el año, además de infraestructura energética, para de esta manera identificar los lugares con mayor potencial, que reúnan las condiciones óptimas para la ubicación del Centro Costero de Energía del país.

**Mapa 3. Temperatura mínima promedio.**

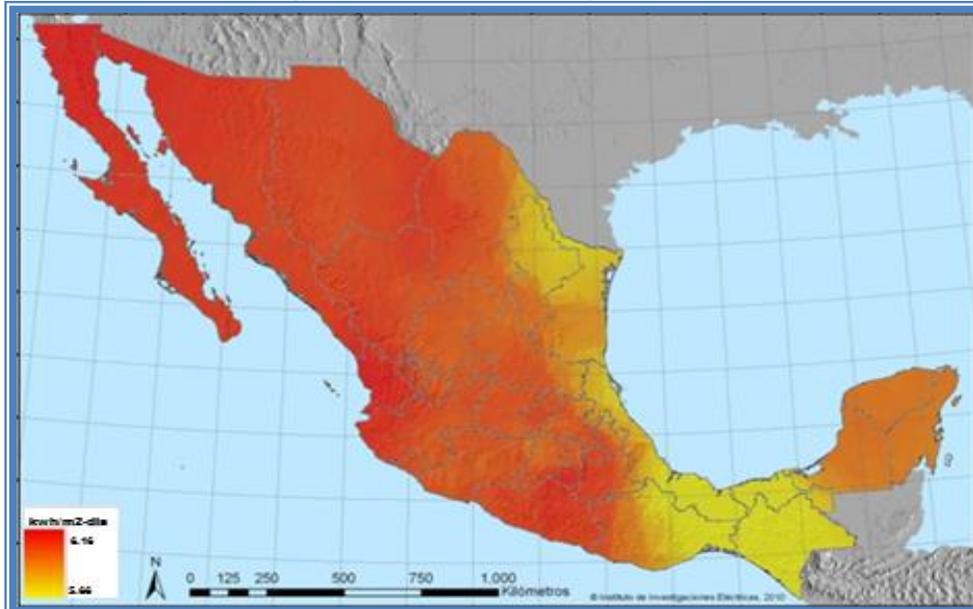
Fuente: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO)

**Mapa 4. Temperatura máxima promedio.**

Fuente: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO)

Como ya se menciona con anterioridad en el presente trabajo se pretende aprovechar todas las fuentes de energía existentes, por lo cual se contempla la energía solar, debido a esto se muestra en el mapa 5, los datos máximos y mínimos promedio de irradiación global en México.

**Mapa 5.** Irradiación Solar por Estado.



Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)

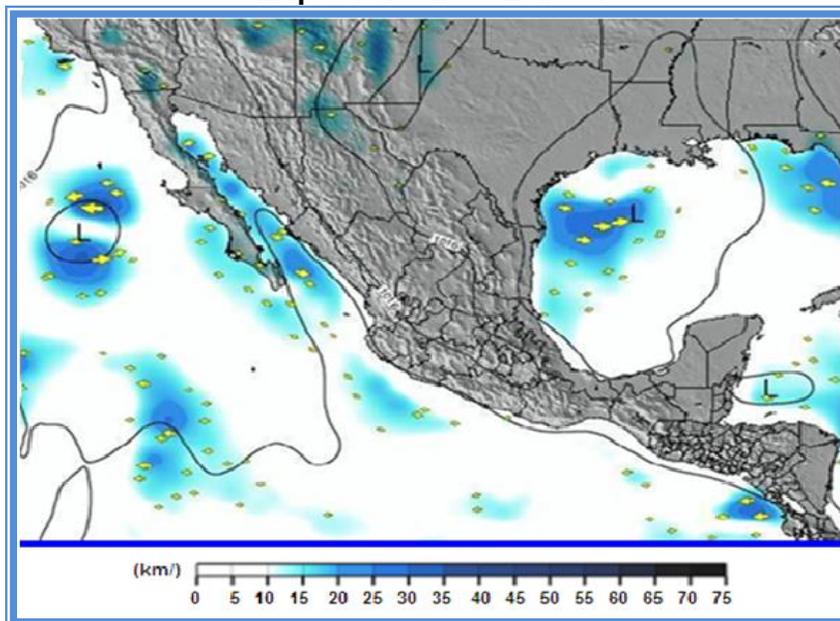
México cuenta con una capacidad instalada de 33 MW en proyectos solares fotovoltaicos, principalmente en aplicaciones de electrificación rural e industrial. Actualmente se encuentran en construcción diferentes proyectos, que tendrán una capacidad instalada total de 31.1 MW. A finales del 2011, la empresa española Siliken anuncio la inversión en el proyecto fotovoltaico “La Manzana del Sol” en Durango. Este proyecto tendrá 100 MW de capacidad instalada en la primera etapa, hasta llegar a un total de 400 MW en los siguientes cinco años.

Actualmente en el país se encuentran en operación diferentes centrales solares fotovoltaicas de las cuales los contratos de pequeña y mediana escala poseen una capacidad instalada de 32 MW del tipo de servicio es privado, en tanto al servicio público se cuenta con la central piloto, Santa Rosalía cuya capacidad instalada es de 1 MW y se ubica en Baja California Sur.

### 2.3 RECURSOS EÓLICOS

México es una de las áreas más prometedoras para el desarrollo de la energía eólica en América Latina, con un potencial técnico de 40 GW. Se ha declarado que el Istmo de Tehuantepec (Oaxaca), cuenta con una zona de viento de clase mundial, donde la velocidad media del viento a menudo excede los 10 m/s y el potencial de energía eólica supera los 6000 MW. Otros sitios que cuentan con excelentes condiciones son; La Rumorosa en el estado de Baja California, así como en los estados de Zacatecas, Hidalgo, Veracruz, Sinaloa, y en la Península de Yucatán, entre otros. La Asociación Mexicana de Energía Eólica estima que estas zonas podrían aportar hasta 10,000 MW de capacidad al parque eléctrico nacional<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Asociación Mexicana de Energía Eólica. Disponible en: <http://www.amdee.org>.

**Mapa 6. Recursos Eólicos.**

Fuente: surf-forecast.com

A pesar de este gran potencial, el desarrollo de la energía eólica en México ha sido lento, debido principalmente a la falta de adecuados incentivos financieros y de políticas que fomenten el uso de la energía eólica.

La capacidad instalada de energía eólica alcanzó los 1,215 MW, en febrero del 2012, de los cuales sólo el 7% es operado por la CFE, mientras que el 93% es operado a través de permisionarios bajo esquemas de autoabastecimiento, pequeños productores y productores independientes. México cuenta con 71 000 MW de potencial de energía eólica, sin embargo actualmente solo se aprovecha el 17% de dicha capacidad.

**Tabla 2.3.** Centrales eólicas para la generación de electricidad 2012.

Central	Capacidad instalada (MW)	Ubicación	Tipo de servicio
La Venta	1.35	Oaxaca	Público
Guerrero Negro	0.6	Baja California Sur	Público
La Venta II	83.3	Oaxaca	Público
La Venta III	101.4	Oaxaca	Público
Oaxaca I	101.4	Oaxaca	Público
Oaxaca II-IV	304.2	Oaxaca	Público
Aerogenerador Cancún	1.5	Quintana Roo	Público
Otros	1,128	Baja California, Chiapas y Oaxaca	Privado

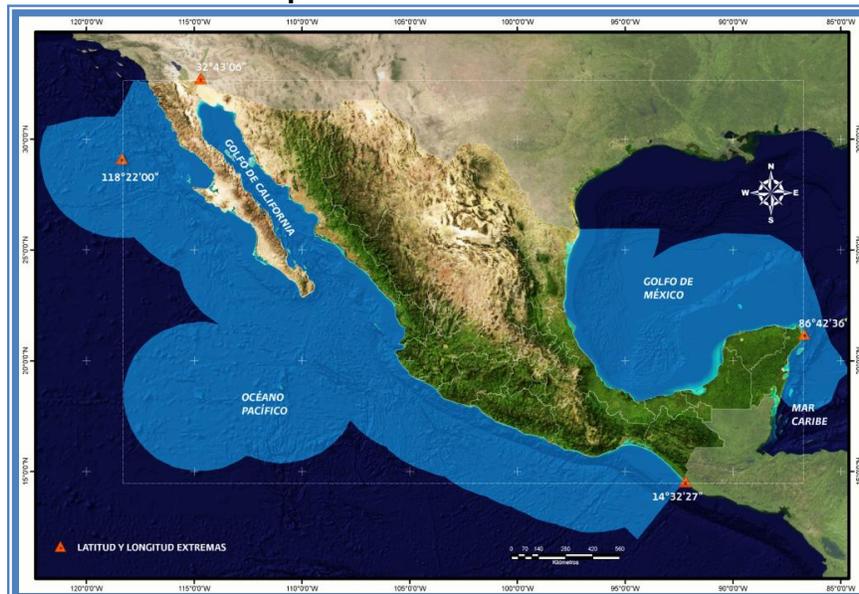
Fuente: Comisión Federal de Electricidad (CFE)/Comisión Reguladora de Energía (CRE)

## 2.4 RECURSOS OCEÁNICOS

### 2.4.1 Topografía de los océanos

Gran parte del piso oceánico profundo está ocupado por llanuras y planicies abismales características de las cuales se elevan colinas y también numerosas montañas marinas. Las grandes profundidades de los océanos se encuentran en las trincheras profundas, estas se localizan principalmente en el Océano Pacífico. La característica más prominente del piso oceánico es la cadena de montañas submarinas, la cual corre de norte a sur del Atlántico, hacia el interior del Océano Indico y a través del Pacífico. Este sistema de cordilleras ejerce una influencia considerable sobre la circulación de las aguas profundas de los océanos. Así las aguas profundas de los lados este y oeste del Atlántico están separadas una de otra por la Cordillera Meso Atlántica, y el intercambio de ellas solamente se efectúa a través de una abertura en la cordillera inclinada cerca del Ecuador. El flujo de las aguas profundas posteriormente está limitado por las cordilleras que presentan aproximadamente en ángulo recto respecto al principal sistema de cordilleras.

**Mapa 7. Océanos de México.**



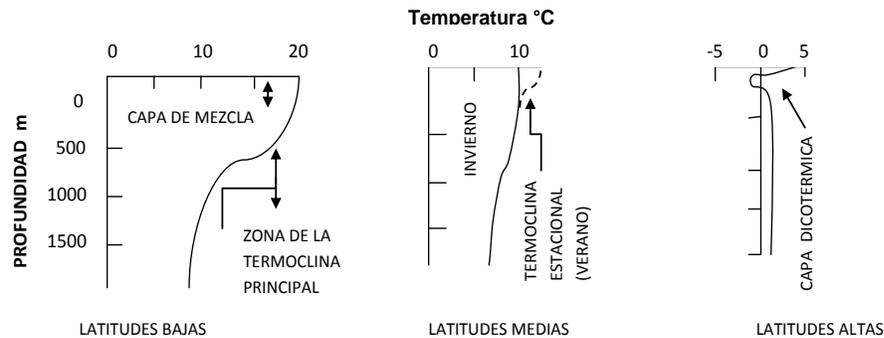
Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SMARNAT, 2010)

### 2.4.2 Distribución de la temperatura del mar

Los océanos pueden dividirse dentro de tres zonas verticales de temperatura, (Fig. 2.1). Las más altas de estas, con una amplitud de 50-200 m, por lo regular consiste de un agua bien mezclada con una temperatura similar a la de la superficie. Debajo se extiende una zona en la cual la temperatura decrece rápidamente con la profundidad; esta es conocida como la termoclina permanente (límite entre dos masas de agua de temperaturas diferentes). Lo anterior ocurre a una profundidad entre aproximadamente 200 y 1000 m de aguas templadas y subtropicales, pero está ausente de las aguas polares porque hay una pérdida neta a través de la superficie. Debajo de la termoclina, se encuentra una zona profunda en la cual la temperatura decrece más gradualmente.

En verano, cuando aumenta la temperatura del agua en las latitudes medias, un gradiente de temperatura es producido en las capas superficiales a una profundidad de 30-50 m. en otoño, la pérdida de calor de la superficie causa el establecimiento de corrientes de convección las cuales destruyen a esta termoclina estacional.

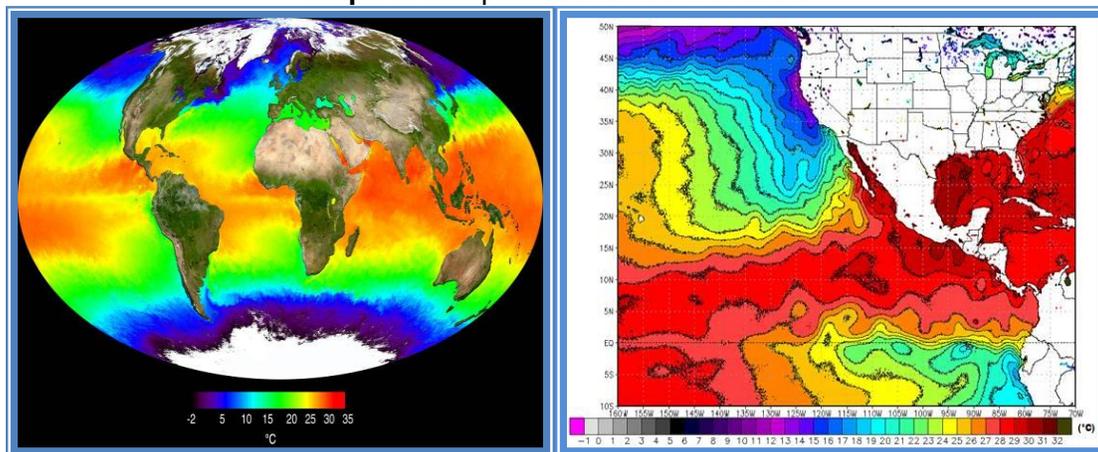
**Figura 2.1.** Perfiles típicos de temperatura media en el océano abierto (Pickard, 1964).



Los movimientos del agua son mantenidos por dos principales fuerzas impulsoras –las diferencias de densidad y viento- para las cuales el calentamiento solar es directa o indirectamente la fuente de energía. Las corrientes por mareas, aun cuando están presentes en todas las profundidades de los océanos, tienen poca influencia sobre la circulación del agua que ya produce solo un transporte neto de aguas ligero.

Cuando el viento sopla sobre la superficie del mar, la fricción sobre el fluido causa el movimiento del agua. En el océano abierto la dirección del movimiento del agua difiere respecto al viento, en razón a la rotación de la tierra. La temperatura es incrementada por la absorción de la radiación solar y es disminuida por la evaporación o conducción a la atmosfera.

**Mapa 8.** Temperatura de los Océanos.



Fuente: National Aeronautics and Space Administration (NASA)

El sol calienta la capa de la superficie de los océanos. El viento y las olas mezclan esta capa de la superficie con las profundidades, de manera que el calor también se mezcla en dirección descendente.

La temperatura de la superficie del agua varía según la latitud. Los mares polares (de latitud elevada), pueden ser tan fríos que llegan hasta los  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mientras que el Golfo Pérsico (de latitud baja), puede a ser tan caliente que llega hasta  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 2.4.3 Composición salina de los mares

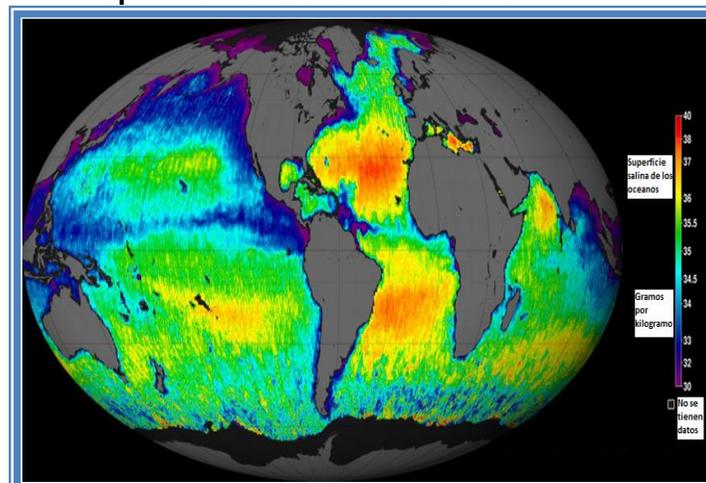
La cantidad total de material disuelto en el agua de mar es llamado salinidad (S) y la definición estrictamente dice: "es la cantidad total de material sólido en gramos contenido en 1 Kg. de agua de mar" ( $\text{‰}$ ).

La salinidad depende de la cantidad de sales que contiene, si hay mucha evaporación, desaparece una mayor cantidad de agua, quedando las sustancias disueltas, por lo que aumenta la salinidad, de tal manera que esta es escasa en las regiones polares, ya que existe poca evaporación de agua del mar, en especial en el verano cuando el hielo se diluye en el agua.

El mapa que a continuación se presenta, revela características de los océanos, como; el aumento de la salinidad en las zonas subtropicales, el aumento de la salinidad promedio en el Océano Atlántico en comparación con los océanos Pacífico e Índico, y la menor salinidad cerca del ecuador, en el Océano Pacífico y en otros lugares.

Estas características están relacionadas con patrones a gran escala de las precipitaciones y la evaporación en el océano, descarga de los ríos y la circulación oceánica.

**Mapa 9.** Salinidad en los mares del mundo.



Fuente: National Aeronautics and Space Administration (NASA)

Los valores numéricos representan la concentración de sal en partes por mil ( $\text{‰}$ ). Los colores amarillos y rojos representan las zonas de mayor salinidad, con el azul, y las áreas púrpuras indican de menor salinidad, las zonas de color negro son las lagunas en los datos.

Aunque la salinidad y la composición química varía de un mar a otro (lo que comporta cambios de densidad así como otros parámetros físicos y químicos), La Salinidad aproximada es:  $34.5\%$  - pH 7.9 - 8.3.

Como los factores que afectan la salinidad del agua superficial son básicamente climáticos, la distribución de la salinidad en estas aguas tiende a ser estacional y los intervalos en el océano abierto son de 32-37.5‰. Las salinidades en todos los océanos presentan el mismo modelo. Un mínimo es encontrado en las regiones ecuatoriales debido a los vientos ligeros y a la elevada precipitación. A latitudes más altas que los trópicos, la salinidad decrece porque la precipitación es mayor que la evaporación, este efecto es acentuado en el verano en los mares polares al derretirse el hielo. Valores bajos de salinidad se localizan cerca de las costas de los continentes a causa de la descarga de los ríos.

El grado de salinidad puede variar en los diferentes océanos, pero las proporciones relativas de los principales constituyentes son las mismas. En la tabla 2.4 se muestra la composición química media aproximada de 1 litro de agua de mar:

**Tabla 2.4.** Composición química promedio del agua de mar.

Componente	Cantidad	Unidades
Cloruro de sodio	24,0	gramos
Cloruro de magnesio	5,0	gramos
Sulfato neutro de sodio	4,0	gramos
Cloruro de calcio	1,1	gramos
Cloruro de potasio	0,7	gramos
Bicarbonato de sodio	0,2	gramos
Bromuro de sodio	0,096	gramos
Ácido bórico	0,026	gramos
Cloruro de estroncio	0,024	gramos
Fluoruro de sodio	0,003	gramos
Agua destilada	1.000	mililitros

Fuente: Tópicos en Oceanografía Física.

## 2.5 INFRAESTRUCTURA ENERGÉTICA

México cuenta con diferentes zonas en las cuales existen diversas instalaciones petroleras, a lo largo del país, las cuales serán tomadas en cuenta, para elegir el lugar más adecuado de la nación para la implementación del Centro Costero de Energía y de esta manera podrán seguir siendo una fuente mas de trabajo y desarrollo para el estado en que se encuentran situadas.

**Mapa 10. Instalaciones de PEMEX.**



Fuente: Petróleos Mexicanos (PEMEX)

En el mapa podemos observar las instalaciones de PEMEX que se encuentran ubicadas en costas mexicanas, algunas de estas instalaciones son: la refinería Madero (en Tamaulipas), los complejos procesadores de gas de Arenque y Poza Rica (en Veracruz), Matapionche, Mordos y La Vorta (en Tabasco), el complejo petroquímico Pajaritos (en Veracruz), además de la refinería de Salina Cruz (en Oaxaca).

Además de la infraestructura petrolera también serán tomadas en cuenta para la elaboración de este trabajo las Centrales productoras de Energía Eléctrica, en este caso se consideran las Centrales con las que se cuentan en funcionamiento en la actualidad, y también son consideradas las Centrales que se prevé contará el país en el año 2025.

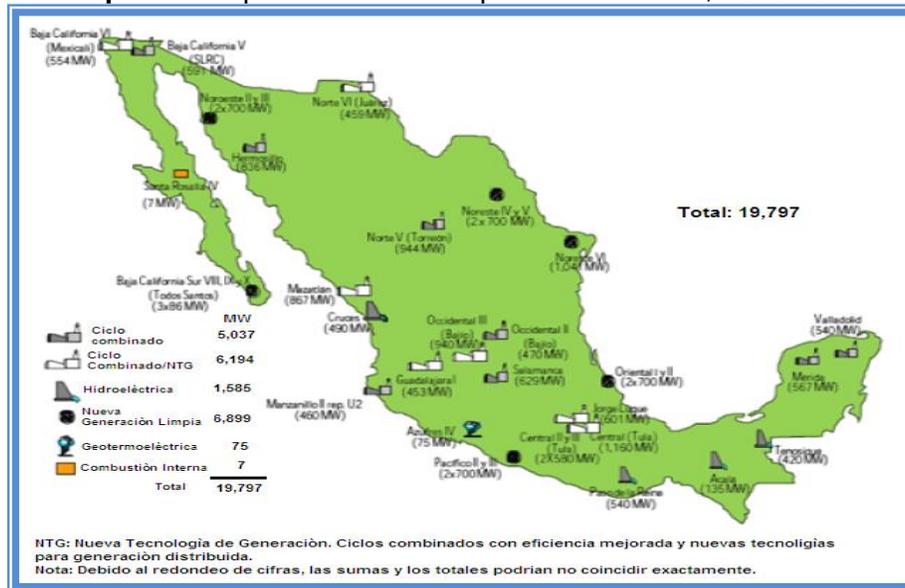
**Mapa 11. Centrales terminadas o en construcción, 2010-2013.**



Fuente: Comisión Federal de Electricidad (CFE)

En el mapa anterior se observa que actualmente, el Estado de Oaxaca es el que posee un mayor número de instalaciones para la generación de energía eólica, además que en el mapa 10 se puede observar que dicho estado también cuenta con una refinería y con diferentes zonas costeras, lo cual nos permite el considerarlo para la implementación del Centro Costero de Energía.

**Mapa 12.** Requerimientos de capacidad adicional, 2020-2025.



Fuente: Comisión Federal de Electricidad (CFE)

El mapa 12 indica, una posible proyección estimada por la CFE de requerimientos necesarios adicionales de energía para el año 2025 en el país. Es importante señalar que en el estado de Oaxaca se planea instalar una Hidroeléctrica (en río Verde), lo cual resultara de gran utilidad debido a que el estado contará con un mayor número de instalaciones para producir energía.

## 2.6 SELECCIÓN DEL ESTADO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CENTRO COSTERO DE ENERGÍA

A continuación, en la tabla 2.5, se presentan las principales características de los estados costeros de México y de esta manera analizar la temperatura media anual, temperatura del mar, irradiación solar y la altura de las olas.

**Tabla 2.5.** Características principales de los estados costeros de México.

Estado	Temp. media anual (°C)	Temp. media del mar (°C)	Irradiación solar (kWh/m <sup>2</sup> -día)	Altura promedio de las olas (m)
Baja California Sur	25.7	25	6.3	1 - 1.5
Campeche	32.6	29	6	1 - 1.5
Chiapas	30.2	31	5.7	1 - 1.5
Gurero	31.5	29	6.6	2.5 - 3
Jalisco	29.3	29	5.9	2.5 - 3
Oaxaca	30.8	31	6.6	2.5 - 3
Michoacán	28.2	29	6.1	2.5 - 3
Nayarit	32.5	30	6.1	1 - 1.5
Quintana Roo	31.8	30	5.7	1 - 1.5
Sinaloa	32.8	29	6.2	1 - 1.5
Sonora	30.9	30	8.6	1 - 1.5
Tabasco	30.7	29		1 - 1.5
Tamaulipas	30.8	29	6.4	1 - 1.5
Veracruz	28.8	31	5.1	1 - 1.5

Las regiones con mayor capacidad de generación de energía eólica son:

El Istmo de Tehuantepec (Oaxaca), es donde se encuentran ubicados la mayoría de los parques eólicos del país, cuenta con 1,174 MW en operación. Además, en el estado se tienen siete proyectos en construcción que suman un total de 1,248 MW. Debido a las excelentes condiciones del viento en esta zona, se estima que existe un potencial de más de 40,000 MW<sup>6</sup>.

La Rumorosa (Baja California), tiene un potencial eólico de más de 5,000 MW. Actualmente, existen tres proyectos en operación y construcción que suman una capacidad instalada de 102 MW.

La costa del Golfo de México, actualmente cuenta con proyectos en construcción por un total de 255 MW en los estados de Tamaulipas y Veracruz.

En la región norte y centro, Nuevo León cuenta con 274 MW que entraran en operación en los próximos 2 años. San Luis Potosí tiene una central eólica en construcción por un total de 200 MW de capacidad. Otra de las zonas con potencial eólico es la Península de Yucatán, ya que cuenta con excelentes corrientes de viento en la costa de Quintana Roo y en la isla de Cozumel.

Los estados que poseen infraestructura para la generación de energía son: Baja California, Guerrero, Jalisco, Oaxaca, Sonora, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz, en tanto a las energías renovables son pocos los estados en los que se cuentan con estas, como por ejemplo: Nayarit con una hidroeléctrica, en Oaxaca se encuentran instalaciones eólicas, además en los próximos años en Michoacán se construirá una planta de energía geotérmica y Oaxaca contará con una hidroeléctrica.

Una vez analizados los datos de los diferentes recursos del país antes ya mencionados, podemos decir que en la mayoría de los estados costeros con que cuenta México sería posible la implementación de Centros Costeros de Energía.

Debido a que algunos estados cuentan con las condiciones de irradiación, vientos e infraestructura energética necesarias. Podríamos decir que los estados que poseen un mayor potencial serían: Campeche, Chiapas, Guerrero, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo y Sonora.

Al estudiar los datos se llegó a la conclusión de que el estado de Oaxaca, es por ahora el estado más indicado para establecer el Centro Costero de Energía, debido a que este es uno de los estados del país que cuenta con rangos de temperaturas mayores durante todo el año y de que los niveles de irradiación son de los más altos del país lo cual favorece a la generación de energía solar, además de que el estado posee una mayor infraestructura, ya que se encuentra instalada una Refinería, Centrales Eólicas y en un futuro contará con una Central Hidroeléctrica. Un punto más a considerar son los cientos de kilómetros de costas que integran el estado de Oaxaca y las líneas de ferrocarril que podrán ser rehabilitadas y construir más para que este servicio funcione nuevamente en todo el estado siendo este ahora eléctrico.

Salina Cruz fue elegido para este trabajo como el lugar exacto para la implementación de dicho centro al contar la mayoría de los recursos anteriormente ya mencionados.

## **2.7 INFORMACIÓN SOBRE EL ESTADO DE OAXACA**

El estado de Oaxaca está localizado en la región sur oeste del pacífico mexicano: limita al norte con Puebla y Veracruz, al este con Chiapas, y al Oeste con Guerrero. La superficie territorial de la entidad es de 95 364 km<sup>2</sup>; lo que representa el 4.8% del total nacional. Por su extensión, Oaxaca ocupa el quinto lugar del país después de los estados de Chihuahua, Sonora, Coahuila y Durango. La entidad posee una superficie náutica de 11 351 km<sup>2</sup> y está ubicado a 1 558 metros sobre el nivel medio del mar.

Por su conformación política, económica y social, Oaxaca cuenta con 8 regiones geoeconómicas: Cañada, Costa, Istmo, Mixteca, Papaloapan, Sierra Norte, Sierra Sur y Valles Centrales; siendo su capital la ciudad de Oaxaca de Juárez, considerada Patrimonio Cultural e Histórico de la Humanidad.

### **2.7.1 Clima**

Oaxaca tiene una variedad de climas, que van desde el tropical a lo largo de la costa a templado en el interior, en el estado predomina el clima tropical, su temperatura media anual es de 30.8 °C. No obstante, la accidentada geografía provoca variaciones del clima. Por ejemplo, en los litorales prevalece una temperatura promedio de 27°C, mientras que en el Valle de Oaxaca la temperatura media es de 22°C, a lo largo de la costa va de 28 a 30 °C. Por su parte, en las regiones altas de las montañas impera el clima frío. En Oaxaca se presentan distintas estaciones secas y lluviosas.

La temporada de lluvias generalmente dura de abril hasta octubre, aunque las variaciones locales del clima pueden acortar o alargar la temporada. La precipitación media anual es de unos 700 mm a lo largo de la costa, de 600 a 700 mm en los valles centrales, 2000 mm y mayores en las montañas.

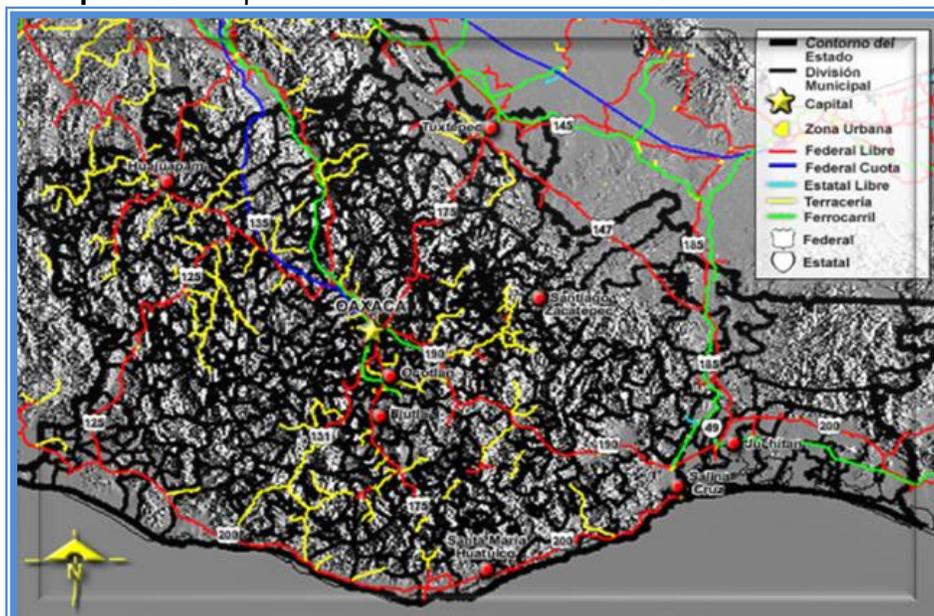
<sup>6</sup>. PRO MÉXICO, Unidad de Inteligencia de Negocios 2012.

**Mapa 13.** Clima del Estado de Oaxaca.

Fuente: Estado de Oaxaca

### 2.7.2 Vías de comunicación

Oaxaca está ubicada al sur de la República Mexicana. Cuenta con una amplia red camionera, tanto federal como estatal. 16,113.40 km de carreteras surcan su territorio, lo que da un promedio de 17.26 km de carreteras por cada 100 km<sup>2</sup>; en cuanto a vías férreas, su longitud es de 287.8 km; para fortalecer más la comunicación estatal, posee 6 aeropuertos y 115 aeródromos, que comunican a las localidades de difícil acceso por vía terrestre; respecto a la comunicación marítima, el estado posee 1 puerto de altura.

**Mapa 14.** Principales vías de comunicación del Estado de Oaxaca.

Fuente: Estado de Oaxaca

### 2.7.2.1 Carreteras

La carretera federal núm. 200, cruza el estado por el sur, bordea la costa oaxaqueña, ingresa por el oeste, comunica las localidades de Pinotepa Nacional, Santiago Jamiltepec, Río Grande, Puerto Escondido, El Coyul, Morro Mazatlán, Salina Cruz, en esta comunidad y hacia Santo Domingo Tehuantepec la carretera 200 se transforma a la núm. 185; en Santo Domingo Tehuantepec se enlaza la carretera núm. 190, de aquí hacia Juchitán de Zaragoza, la carretera tiene los números 200, 190 y 185 hasta la comunidad La Ventosa donde se separa la carretera núm. 185 al norte; mientras la carretera 190 y 200 con dirección al este continúan juntas uniendo las localidades de La Venta, Niltepec, Santo Domingo Zanatepec y San Pedro Tapanatepec donde se separan; la carretera núm. 200 sigue hacia Chahuities y sale de la entidad a Arriaga Chiapas.

La carretera federal núm. 190 tiene una dirección noroeste-sureste, entra al estado cerca de Huajuapán de León, continúa hacia Tamazulapán del Progreso, Oaxaca, Tlacolula de Matamoros, Santiago Mazatlán, Santa María Jalapa del Márquez, Santo Domingo Tehuantepec, aquí se unen las carreteras 185 y 200; en la comunidad de San Pedro Tapanatepec, se separa de la carretera núm. 200 y sale de la entidad hacia Cintalapa, Chiapas.

La carretera federal núm. 175 entra al norte por Tuxtepec, enlaza hacia el sur las localidades de San José Chiltepec, Guelatao de Juárez, El Punto, Oaxaca, San Bartolo Coyotepec, Ocotlán de Morelos, Ejutla de Crespo, Miahuatlán de Porfirio Díaz, San Pedro Pochutla y termina en Puerto Ángel; la carretera núm. 125 une las carreteras federales 190 y 200 en la porción occidental del estado ingresa al mismo por Santiago Chazumba, llega a Huajuapán de León, ahí se une a la carretera 190, se separa de ella adelante de la localidad Refugio de Morelos, en su trayecto enlaza las comunidades de Santiago Yolomécatl, San Martín Huamelulpan, Punta de Guerrero, Hidalgo, San Pedro Amuzgos, entre otras.

La carretera federal núm. 131 ingresa por Teotitlán de Flores Magón, continúa al sur para comunicar las localidades de Santa María Tecomavaca, San Juan Bautista Cuicatlán, San Francisco Telixhuaca, se une a la carretera 190 y continúan hasta Oaxaca, donde se separan y continúa hacia el sur para enlazar las localidades de Cuilapan de Guerrero, Zachila, y llega hasta San Miguel Sola de Vega.

En la porción oriental se ubica la carretera Fed. núm. 185 que viene de Acayucan, Ver., ingresa por Martín Dehesa, continúa hacia Palomares y se enlaza la carretera núm. 147, sigue a Matías Romero, hasta llegar a la Ventosa donde se unen las carreteras 200 y 190, recorre unida a las anteriores hasta Santo Domingo Tehuantepec y termina en Salina Cruz.

### 2.7.2.2 Ferrocarriles

La vía férrea que viene de Tehuacán, Puebla, ingresa al estado por la estación Aldama; esta línea llega a Oaxaca, continúa al sur un ramal hacia Tlacolula de Matamoros. La otra vía férrea que cruza el territorio estatal tiene una trayectoria casi paralela a la carretera Fed. núm. 185; la primera estación es Uvero, pasa por Matías Romero, Cd. Ixtepec, Santo Domingo Tehuantepec para llegar a Salina Cruz.

### 2.7.2.3 Aeropuertos

Los seis aeropuertos que posee el estado se encuentran en: Puerto Escondido, Oaxaca/Xoxocotlan, Ixtepec, Minatitlán, Tuxtla Gutiérrez y en las Bahías de Huatulco, de los cuales dos ofrecen servicios nacional e internacional, los que se ubican en la Bahía de Huatulco y en la ciudad de Oaxaca, los restantes dan servicio nacional; la comunicación del estado se complementa por este medio ya que se cuenta con 115 aeródromos, distribuidos en todo el territorio oaxaqueño.

### 2.7.2.4 Puertos

El principal puerto es Salina Cruz, en donde se realizan actividades comerciales, pesqueras y turísticas; existen otros puertos en la entidad como: Puerto Escondido y Bahías de Huatulco con actividades turísticas y pesqueras.

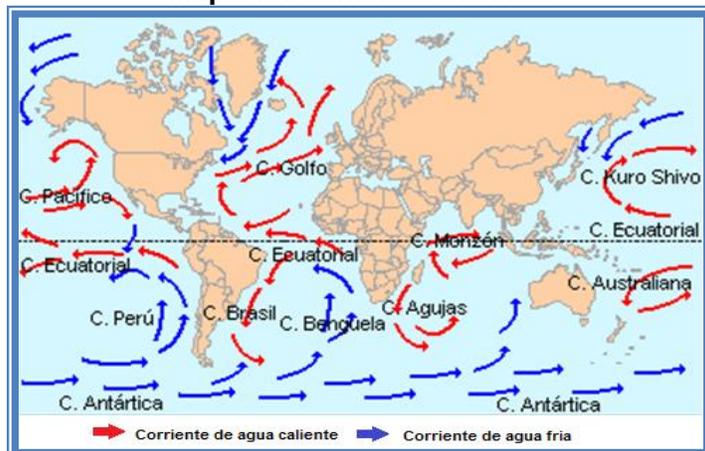
A continuación se describirán más a fondo los recursos eólicos y oceánicos con que cuenta el estado de Oaxaca.

## 2.8 RECURSOS OCEÁNICOS DEL ESTADO DE OAXACA

### 2.8.1 Océano Pacífico

La circulación del agua superficial del Océano Pacífico semeja a la del Atlántico. Los vientos alisos derivan las Corrientes Ecuatoriales Sur y Norte en una dirección hacia el Oeste a través de la parte ancha del océano a una velocidad de 25-30 y 50-60 cm/s respectivamente. Como los sistemas de vientos muestran una carencia de simetría estas corrientes no son distribuidas simétricamente cerca del Ecuador, pero son desplazadas aproximadamente 7° al Norte. Cuando la Corriente Ecuatorial del Norte alcanza Filipinas se divide. Una parte del agua gira de regreso al Sur para alimentar a la Contracorriente Ecuatorial, pero la mayor parte corre Norte-Este, cerca de las costas de Japón como la Corriente de Kurosivo. Esta corriente cálida semeja a la Corriente de Florida, siendo profunda, estrecha y rápida. Aproximadamente a 35°N la corriente gira al Este y se torna ancha; entonces recibe el nombre Extensión de Kurosivo y es la contraparte de la Corriente del Golfo, transportando agua en una relación similar ( $30-60 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Cerca de los 170°E, se asocia a la corriente fría de Oyasivo que viene del Mar de Bering. La corriente combinada, se conoce como la Corriente del Pacífico Norte, fluye hacia el Este, hasta cerca de América del Norte. Entonces se divide en dos partes, una de ellas gira al Norte a través del Golfo de Alaska al Mar de Bering, mientras que la otra corre hacia el Sur como la Corriente de California para completar el giro del Pacífico Norte.

La circulación superficial del Pacífico Sur es contra las manecillas del reloj. La Corriente Ecuatorial del Sur después de cruzar el océano gira hacia el Sur a lo largo de las costas Este de Australia y entonces surge como la Corriente de Deriva del Oeste. La circulación se completa cuando está rota hacia el Norte como la Corriente del Perú. El principal modelo de circulación tanto del Pacífico Norte y Sur es complicado por la presencia de enormes giros o remolinos.

**Mapa 15. Corrientes marinas.**

Fuente: Fotografía de William R. Curtsinger

El sistema de contracorrientes del Pacífico está mucho más desarrollado que el Atlántico, y la estrecha Contracorriente Ecuatorial del Norte puede ser trazada a 8°N, entre las Corrientes Ecuatoriales Norte y Sur para una distancia de aproximadamente 12000 km. Posteriormente, con desarrollo escaso, las contracorrientes se presentan casi a 10°S. Estos sistemas de corrientes son alimentados por los ramales del giro que retroceden de las Corrientes Ecuatoriales Norte y Sur respectivamente.

### 2.8.2 Distribución de la salinidad de los océanos

La salinidad es una de las propiedades más importantes del agua de mar; las aguas oceánicas oscilan entre las 34 ‰ y 38 ‰. Las anteriores salinidades significan que hay 34 g y 38 g de sales presentes en un kilogramo de agua de mar. Los valores altos de salinidad se encuentran en lugares donde la evaporación excede a la precipitación pluvial y viceversa.

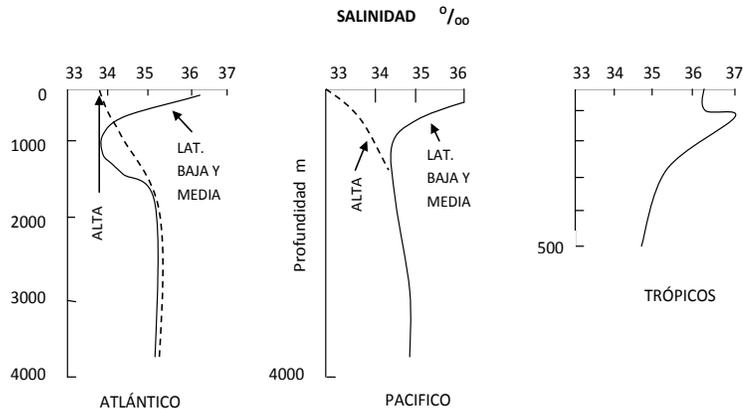
A continuación se muestra en la tabla 2.6, la diferencia de salinidad en los distintos mares y océanos.

**Tabla 2.6.** Contenido de sales en los diferentes océanos y mares.

Mar (océano)	Contenido de sales (%)
Océano Atlántico	3,6
Océano Pacífico	3,36
Océano Índico	3,38
Mar Mediterráneo	3,94
Mar Adriático	3,0
Mar de Japón	3,4
Mar del Norte	3,28
Mar Rojo	4,3
Mar Blanco	3,3
Mar de Mármara	2,5
Mar Negro	1,7
Mar Caspio	1,3
Mar Báltico	0,75

La distribución vertical de la salinidad con respecto a la profundidad en los océanos Atlántico y Pacífico están representadas diagramáticamente en la figura 2.2. A latitudes bajas y latitudes medias hay un mínimo de salinidad pronunciado de 600-1000 m por debajo del cual la salinidad se incrementa a aproximadamente 2000; en aguas tropicales un máximo bien definido ocurre alrededor de 100 m cerca de la parte superior de la termoclina. A latitudes altas donde la convergencia se presenta, este mínimo está ausente y la salinidad aumenta con la profundidad aproximadamente a 2000 m. La salinidad de todas las aguas oceánicas situadas a profundidades de 4000 m son relativamente constantes entre 34.6-34.9 ‰.

**Figura 2.2.** Perfil típico de salinidad en el océano abierto. (Pickard, 1964.)



### 2.8.3 Corrientes y circulación

Existe cierto paralelismo entre los vientos y las corrientes marinas; sin embargo, la distribución de estas no es idéntica a la de los vientos, debido a varias causas: diferencias en profundidad y forma de las cuencas marinas, barreras submarinas y dirección de las costas, que necesariamente desvían a aquellas.

Tanto los vientos del NE como los del SE están separados por una zona de vientos débiles, la cual debido a las altas temperaturas y humedades de la superficie del mar, constituyen una zona propicia para la formación de ciclones y huracanes, que cobran importancia en la costa del Pacífico.

Los vientos del Istmo de Tehuantepec son conocidos como “Tehuantepecanos”, los cuales son vientos de “descenso” y son más frecuentes en invierno. En esta misma región, en el verano se observan vientos de alta velocidad durante el paso de los huracanes, que ocurren con una frecuencia de dos por mes en el punto culminante de la estación (septiembre).

La circulación de la Superficie del Océano Pacífico Oriental Tropical está sometida a una considerable variación en respuesta al cambio del sistema de los vientos principales. El patrón de circulación está dominado por la parte oriental y ecuatorial de los movimientos giratorios anticiclónicos del Océano Pacífico Norte, éstos están constituidos por la Corriente de California y la Corriente Norecuatorial. A causa de la configuración del océano ofrece una pauta de circulación variable y aparentemente complicada.

Las corrientes superficiales en el Golfo de Tehuantepec a gran escala indican una corriente hacia el Oeste frente a la Costa de Salina Cruz durante casi todo el año. Sin embargo, la circulación producida por los vientos Tehuantepecanos es un fenómeno de gran importancia para la navegación y una condición meteorológica excepcional desde el punto de vista oceanográfico.

La U.S. Hydrographic Office, describe corrientes costeras hacia dentro del Golfo de Tehuantepec (costa Norte) como una respuesta al desplazamiento de agua hacia mar abierto originado por el arrastre de los fuertes vientos del Norte. La rapidez de la corriente puede alcanzar 100 cm/seg.

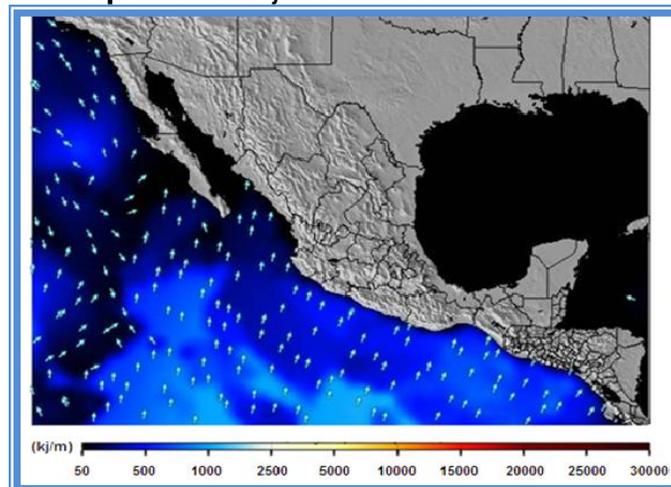
Frente a Salina Cruz, esta corriente se dirige hacia el Este, invirtiendo su sentido cuando la fuerza del viento cesa y tiende a restablecer el equilibrio de la superficie del mar. Esta corriente hacia el Oeste se presenta con intensidad cercana a 30 cm/seg.

A menor escala, la circulación superficial a Salina Cruz es hacia el Este y a más de un km de la costa. Las bahías protegidas pueden presentar circulación en sentido opuesto (hacia el Oeste), con menor rapidez, y sobre sus márgenes como parte de giros ciclónicos. Estos giros pueden ser inducidos por la corriente que fluye al Este en mar abierto y por el efecto de protección de las puntas. Además, se asume que las corrientes tienden a ser paralelas a la costa o hacia aguas profundas.

Los principales factores que inducen la variación del nivel medio del mar son: los cambios en la presión atmosférica y la velocidad e intensidad del viento; el efecto combinado de estos tiene una mayor influencia debido al empuje del viento sobre la superficie del mismo. Las anomalías en la circulación atmosférica se reflejan en el nivel del mar, ya sea por acumular agua hacia la costa, abatirla o al propagar ondas de largo periodo a través de los océanos. Las variaciones estacionales del nivel del mar durante el transcurso de un año, son producto del cambio en la circulación general de los vientos. Hay una estrecha relación en cuanto a dirección del viento y la respuesta del nivel del mar a elevarse o abatirse.

De esta manera, las variaciones en el nivel del mar se propagan a lo largo de la costa por tormentas tropicales y huracanes que se generan a finales del verano (mayo-octubre) en la costa Sureste de México, para después desplazarse libremente hacia el Norte. En la región Sureste la velocidad inicial de propagación es muy variable (250-500 km/día); hacia el Norte esta velocidad decrece (180-250 km/día). En invierno (Noviembre-Abril) el nivel del mar es menor, y se aprecia solo en Acapulco y Mazatlán. La velocidad de propagación es generalmente menor que en verano (140-230 km/día).

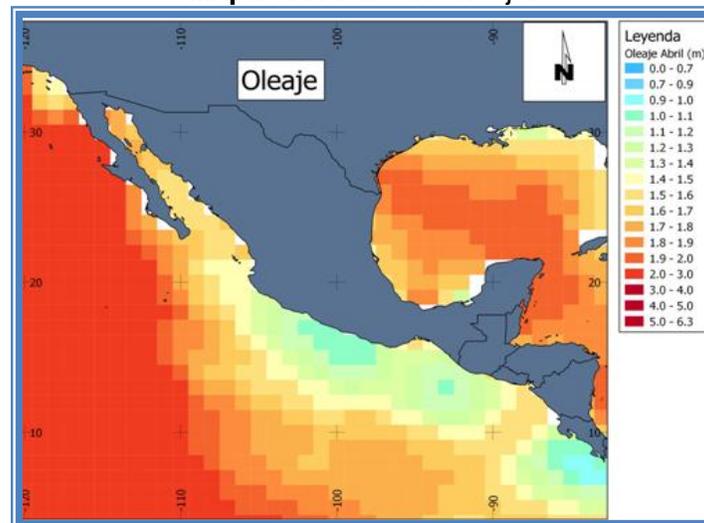
Las tormentas o ciclones tropicales (mayo-octubre) que comienzan en Salina Cruz, Oaxaca, pueden afectar el área localmente y también a las costas de Guerrero. Sin embargo, las tormentas que empiezan en Acapulco afectan el Golfo de Tehuantepec con menor probabilidad, debido a que los vientos generalmente van hacia el NO o del O al NO, esto ayuda a explicar porque se reconocen menos eventos de propagación del nivel marino en Salina Cruz. El Golfo de Tehuantepec, en particular Salina Cruz, durante la época de "nortes" (invierno) es azotado por fuertes vientos que tienen un efecto directo sobre la superficie del mar, arrastran grandes masas de agua que hacen variar el nivel del mar en forma de grandes ondas de largo periodo, que algunas veces llegan a tener amplitudes de 50 cm.

**Mapa 16.** Oleaje del Estado de Oaxaca.

Fuente: surf-forecast.com

\*En el mapa anterior podemos observar que las flechas indican la dirección de las marejadas más fuertes.

A continuación se muestra un mapa que indica la altura que alcanzan las olas en nuestro país.

**Mapa 17.** Altura del oleaje.

Fuente: surf-forecast.com

## 2.9 RECURSOS EÓLICOS DEL ESTADO DE OAXACA

Los mapas de viento de Oaxaca muestran muchas áreas que se estima tienen excelentes recursos de energía eólica (clases 4 a 7, siendo 7 el más alto). Las áreas con más viento en Oaxaca se concentran en la región sureste del estado, principalmente en la parte Sur del Istmo de Tehuantepec. En la región del Istmo el viento se extiende desde la costa hacia el norte a unos 60 y 80 km de Este a Oeste, en esta región se encuentra un excelente recurso eólico (clase 5 o más). El nivel de viento más alto (clase 7) en el Istmo ocurre cerca de las colinas (incluyendo La Mata y La Venta), cordilleras y la costa. La región del Istmo se caracteriza por contar con fuertes vientos del Norte, son particularmente durante noviembre a febrero que resulta ser la temporada pico en cuanto al viento.

Existen conjuntos de datos climáticos que indican que el mayor recurso eólico se encuentra cerca del Istmo y en zonas de terreno adyacentes a esta región (hasta 100 km hacia el este y al oeste del Istmo), también se estima que tiene excelente recurso eólico, pero muchos de estos sitios serían difíciles de desarrollar debido a lo accidentado del terreno y de difícil acceso, datos indican que el recurso eólico en y cerca del Istmo disminuye significativamente en altitudes superiores a 1200 m a 1500 m, por lo que es probable que muchas de las elevaciones más altas en esta región tienen menos recursos eólicos, que los sitios de menor elevación del Istmo. Algunas áreas adicionales que se estima tienen buenos recursos eólicos se encuentran específicamente en zonas del noreste, centro y sur de Oaxaca. En el noroeste de Oaxaca, las áreas destacadas se encuentran ubicadas principalmente en el este y norte de Huajuapán de León, el área en la cual se concentran la mayoría de los vientos de clase 4 y clase 5, es una zona de llanuras y colinas en las cercanías de Santiago Chazumba, a unos 50 km al norte de Huajuapán de León. Mientras que en el centro de Oaxaca, la mayoría de las áreas notables se encuentran a unos 40-70 km al este de la ciudad de Oaxaca (cerca de Mitla), aquí, los vientos del noreste parecen acelerarse sobre las relativamente bajas cordilleras al norte y al este de Mitla, ya que se desvían alrededor del extremo sur de las montañas altas de la Sierra de Oaxaca. En lo que respecta al sur de Oaxaca, algunas de las áreas más beneficiadas se encuentran a unos 80-110 kilómetros al sur de la ciudad de Oaxaca (cerca de Miahuatlán). En esta región los vientos del noreste parecen acelerarse sobre las lomas del sur y del oeste de Miahuatlán, ya que se desvían alrededor del extremo occidental de las altas montañas de la Sierra Madre del Sur. Se debe mencionar que los recursos eólicos de todas estas regiones dependen de las características del terreno y a la aceleración de los vientos del norte.

De manera similar, las crestas situadas al noroeste y al suroeste de Ixtepec cuentan con excelentes recursos eólicos. La elevación de estas cordilleras, que forman la extensión extremo sureste de la Sierra de Oaxaca, son generalmente menos de 1500 m, con la mayoría de las crestas que van desde 500 m a 1000 m de altitud. Finalmente, muchas áreas de excelente recurso eólico se estiman que se encuentran en las crestas situadas al oeste de Salina Cruz y al suroeste de Tehuantepec. Estas áreas forman la extensión en el extremo este de la Sierra Madre del Sur. Algunas áreas que cuentan con recursos eólicos, se estima que se encuentran a lo largo de las crestas de hasta 80 km al oeste de Salina Cruz, sin embargo, la zona más concentrada que cuenta con vientos de clase 7 encuentra aproximadamente a 20 o 30 km al oeste de Salina Cruz.

La temporada pico de los vientos es de octubre a febrero, cuando los vientos del noreste son más fuertes y frecuentes, se estima que hay cerca de 6 600 km<sup>2</sup> de terreno que cuentan con un excelente potencial de viento en Oaxaca. El terreno ventoso representa poco más del 7% del total de la superficie de Oaxaca.

La proporción de tierra-viento y la capacidad de potencial eólico en cada categoría de la energía eólica se muestran en la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7.** Potencial Eólico del Estado de Oaxaca  
Recurso Eólico de Moderado a Excelente a 50 m

RECURSOS EÓLICOS UTILIDAD DE LA ESCALA	CLASE DE VIENTO	ENERGÍA EÓLICA A 50m (W/m <sup>2</sup> )	VELOCIDAD DEL VIENTO A 50m (m/s <sup>1</sup> )	ÁREA TOTAL (Km <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DEL TERRENO CON MAYOR VIENTO	CAPACIDAD INSTALADA TOTAL (MW)
MODERADO	3	300 - 400	6.1 - 6.7	2,234	2.4	11,150
BUENO	4	400 - 500	6.7 - 7.3	2,263	2.5	11,300
EXCELENTE	5	500 - 600	7.3 - 7.7	1,370	1.5	6,850
EXCELENTE	6	600 - 700	7.7 - 8.5	1,756	1.9	8,800
EXCELENTE	7	>800	>8.5	1,248	1.4	6,250
TOTAL				8,870	9.7	44,350

\* Las velocidades de viento se basan en una elevación de 2000 m

Supuestos

Capacidad instalada por cada km<sup>2</sup> = 5 MW

Una aproximación conservadora indica que por cada km<sup>2</sup> se cuentan con 5 MW y podría incrementarse hasta 33 000 MW de capacidad potencial instalada. Si únicamente son tomados en cuenta los 1200 km<sup>2</sup> con mayor viento (clase 7), se podría llegar a los 6 000 MW de capacidad instalada. Debido a esto el Gobierno de Oaxaca ha establecido como objetivo producir 2 000 MW de energía renovable para el año 2015 (D. Elliott, 2003).

La tabla 2.8 muestra las clasificaciones de la energía eólica para aplicaciones a escala comercial en Oaxaca.

**Tabla 2.8.** Clasificación de la Potencia del Viento

CLASE	POTENCIAL DE RECURSOS (ESCALA DE UTILIDAD)	ENERGÍA EÓLICA A 50m (W/m <sup>2</sup> )	VELOCIDAD DEL VIENTO <sup>(a)</sup> A 50m (m/s)
1	MALO	0 – 200	0.0 – 5.3
2	MARGINAL	200 – 300	5.3 – 6.1
3	MODERADO	300 – 400	6.1 – 6.7
4	BUENO	400 – 500	6.7 – 7.3
5	EXCELENTE	500 – 600	7.3 – 7.7
6	EXCELENTE	600 – 800	7.7 – 8.5
7	EXCELENTE	>800	>8.5

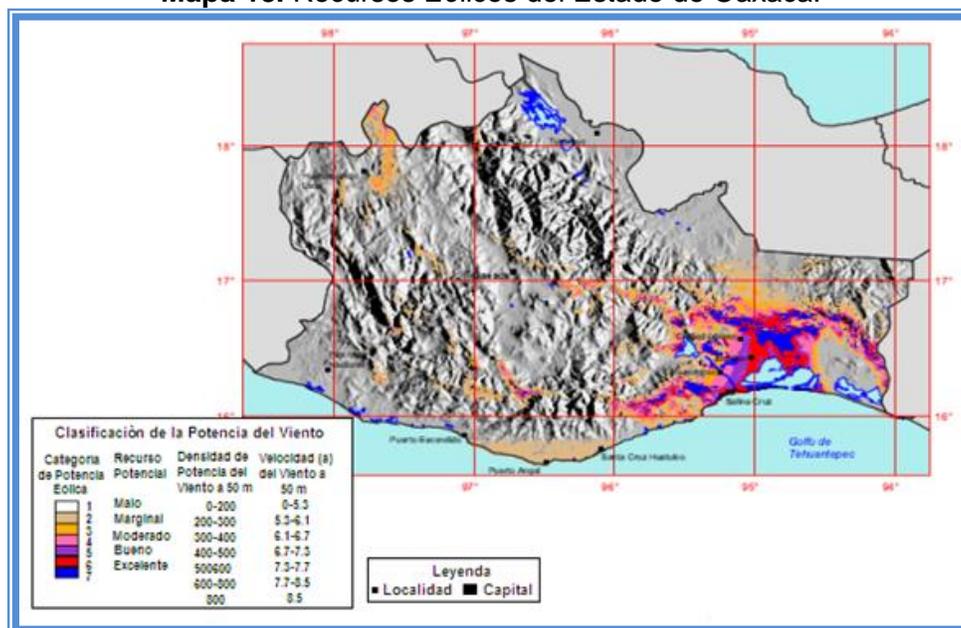
<sup>(a)</sup> La velocidad media del viento se calcula suponiendo una elevación del nivel del mar y una distribución de velocidades de viento con un factor de forma (k) de 1.8. La velocidad media del viento real puede diferir de estos valores estimados por un 20%, dependiendo de la distribución de velocidad del viento real y la elevación sobre el nivel del mar.

Las áreas con recursos de viento clase 4 y superiores se consideran adecuados para el desarrollo a escala de energía eólica. Mientras que para aplicaciones rurales o fuera de la red eléctrica, requieren menos recursos del viento (clase 2), para que un proyecto sea viable.

### 2.9.1 Distribución de Recursos y Características del viento

El mapa 18, es un mapa básico que muestra los recursos eólicos del estado de Oaxaca, estimaciones de dichos recursos, las ciudades principales y los cuerpos de agua. En este mapa, se puede ver claramente los valores de los recursos eólicos de áreas específicas, esta figura permite relacionar el recurso eólico a las características del terreno importantes en Oaxaca, en zonas muy oscuras o brillantes, suelen ser zonas cuyo terreno suele ser bastante inclinado. Estas zonas escarpadas generalmente no son adecuadas para el desarrollo de la energía eólica, debido a condiciones de turbulencia del viento, a menudo asociados con las empinadas laderas.

**Mapa 18.** Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca.



Fuente: Atlas Eólico de Oaxaca

Oaxaca es influenciada por tres flujos eólicos predominantes: un viento del Norte al Noreste a partir de octubre a febrero, vientos del Oeste entre marzo y mayo, además del Este al Noreste en un periodo de junio a septiembre. El origen de este flujo hacia el Norte es el gradiente de presión, entre la más alta en el Golfo de México y la inferior en el Océano Pacífico. Este flujo de viento es normalmente más al Norte, cerca de la superficie y se vuelve más hacia el Noreste a una altura de unos pocos cientos de metros sobre la superficie.

En la región del Istmo de Tehuantepec, donde el viento está fuertemente canalizado por la topografía, la dirección del viento puede permanecer más al Norte al aumentar la elevación. Los fuertes vientos de aire libre, mayores de 10 m/s en el este de Oaxaca durante esta temporada, puede extenderse desde unos pocos cientos de metros sobre el nivel del mar hasta los 1200 m sobre el nivel del mar. Por lo tanto, las ubicaciones completamente expuestas a estos fuertes vientos, tales como localidades de la región del Istmo, puede tener clase 6 o clase 7 anualmente. En el Oeste de Oaxaca, los vientos de aire libre son de 8 m/s hasta 10 m/s en esta temporada y se extienden hasta las elevaciones más altas de 2000 m a 2400 m sobre el nivel del mar. En áreas expuestas en el Oeste de Oaxaca, los vientos pueden ser de clase 4 y superiores anualmente.

Los vientos son generalmente más débiles del Oeste entre abril y mayo también al Este con los flujos de viento del Noreste de junio a septiembre. Durante estos meses, el pico de vientos en promedio son alrededor de 6 m/s hasta 7 m/s.

Aunque los vientos alisios del verano son sustancialmente más bajos que los del otoño-invierno en estas áreas, los vientos del Noreste en verano pueden tener buenos recursos eólicos durante esta temporada. Ejemplos de estas áreas son: La Mata y La Venta, que tiene buen viento, durante los meses de verano.

En las zonas costeras del centro-sur de Oaxaca, los recursos eólicos máximos se producen entre marzo y mayo, cuando los fuertes vientos de brisa marina sopla durante las tardes. La dirección predominante de viento es desde el Sur (todo el año), los vientos más fuertes ocurren durante marzo, abril y principios de mayo. Los lugares que están expuestos a estos fuertes vientos del Sur (como las Bahías de Huatulco) se estiman que son de clase 4 durante estos meses y clase 2 en un promedio anual.

### **2.9.2 Distribución diurna de la velocidad del viento**

La distribución de la velocidad del viento diurno (o la velocidad del viento en función del tiempo del día) está influenciada por el sitio, la elevación, topografía y la exposición directa a los flujos de viento predominantes. La distribución en los sitios de bajo recurso eólico en las tierras bajas del interior de Oaxaca ofrece típicamente una máxima velocidad del viento acelerado durante la tarde y una velocidad mínima durante la noche. Existen mayores variaciones diurnas y más altas velocidades de viento por la tarde, se producen durante primavera en los meses de marzo y abril, ocurren en las áreas costeras del centro-sur, en las bahías de Huatulco.

Los vientos marinos son más fuertes por la tarde de marzo a mayo, en promedio de 7.5 m/s a 8.5 m/s, el más débil se presenta desde junio hasta octubre, cuando manejan en promedio de 5.0 m/s hasta 6,5 m/s. Los vientos llegan a ser muy ligeros y con frecuencia se calman durante la mayor parte de la noche y primeras horas de la mañana. En consecuencia, a pesar de que el viento de la tarde es de bueno a excelente (clases 4-6 anual en promedio), el recurso eólico en general es clase 2 a causa de las velocidades del viento muy bajas durante la noche y primeras horas de la mañana. Hacia el oeste a lo largo de la costa, la brisa del mar parece significativamente más débil, como es evidente por los datos de Puerto Escondido. Una brisa ocurre durante horas de la madrugada en Puerto Escondido, pero parece que sólo oscila entre 4 y 5 m/s.

El patrón diario en los lugares con más altos recursos eólicos se encuentra en la región del Istmo. La velocidad es alrededor de 15 m/s y es de clase 7 en estos sitios, el máximo de estos recursos es generalmente desde media mañana hasta la tarde. Sin embargo, durante los meses más ventosos (de noviembre a febrero), el recurso eólico es a veces un poco mayor durante la noche que durante el día. Se presentan ligeramente grandes amplitudes diurnas y máximos durante el día, el menor recurso eólico se registra en los meses de abril a septiembre.

En las localidades del Istmo, como en la estación meteorológica de Salina Cruz, las grandes amplitudes diurnas de 2 m/s a 3 m/s se producen porque los efectos de estabilidad suelen reducir las velocidades del viento durante la noche.

**CAPÍTULO III**  
**PROPUESTA ARTÍSTICA-ARQUITECTÓNICA DEL**  
**CENTRO COSTERO DE ENERGÍA.**

En el presente capítulo se desarrollará una propuesta de un Centro Costero de Energía, de modo que se hará mención de las diferentes energías renovables así como de los diversos procesos y tecnologías existentes para la obtención, almacenamiento y producción de las mismas.

Debido a que en este trabajo hacemos referencia a algunas energías híbridas, a continuación se menciona brevemente la base de dichas energías.

### **La Cogeneración**

La cogeneración es un sistema para la producción de electricidad y energía térmica en forma aprovechable (calefacción, agua caliente, refrigeración, etc.). Es decir, que a partir de una sola fuente de energía producimos dos diferentes tipos de energía (electricidad y calor útil). En los sistemas tradicionales de generación de energía, se produce sólo un tipo de energía (electricidad), la cual se utiliza con diferentes fines. Pero a la vez que se genera electricidad, se produce calor que se escapa y que no aprovechamos. Esto se aprecia también en las turbinas, cuyo principio donde se aprecia cómo el vapor caliente y a presión entra en la turbina, mueve las cuchillas que a su vez mueven un eje que gira y produce electricidad dentro de un campo magnético. El vapor sale por abajo, pero aún está caliente. Ese calor se podría aprovechar. En ese momento entra la cogeneración.

En el caso de la cogeneración (producción de electricidad y calor a partir de una única fuente energética) la eficiencia puede ser del 80-92%. La cogeneración se puede aplicar en cualquier situación donde se necesite calor o frío.

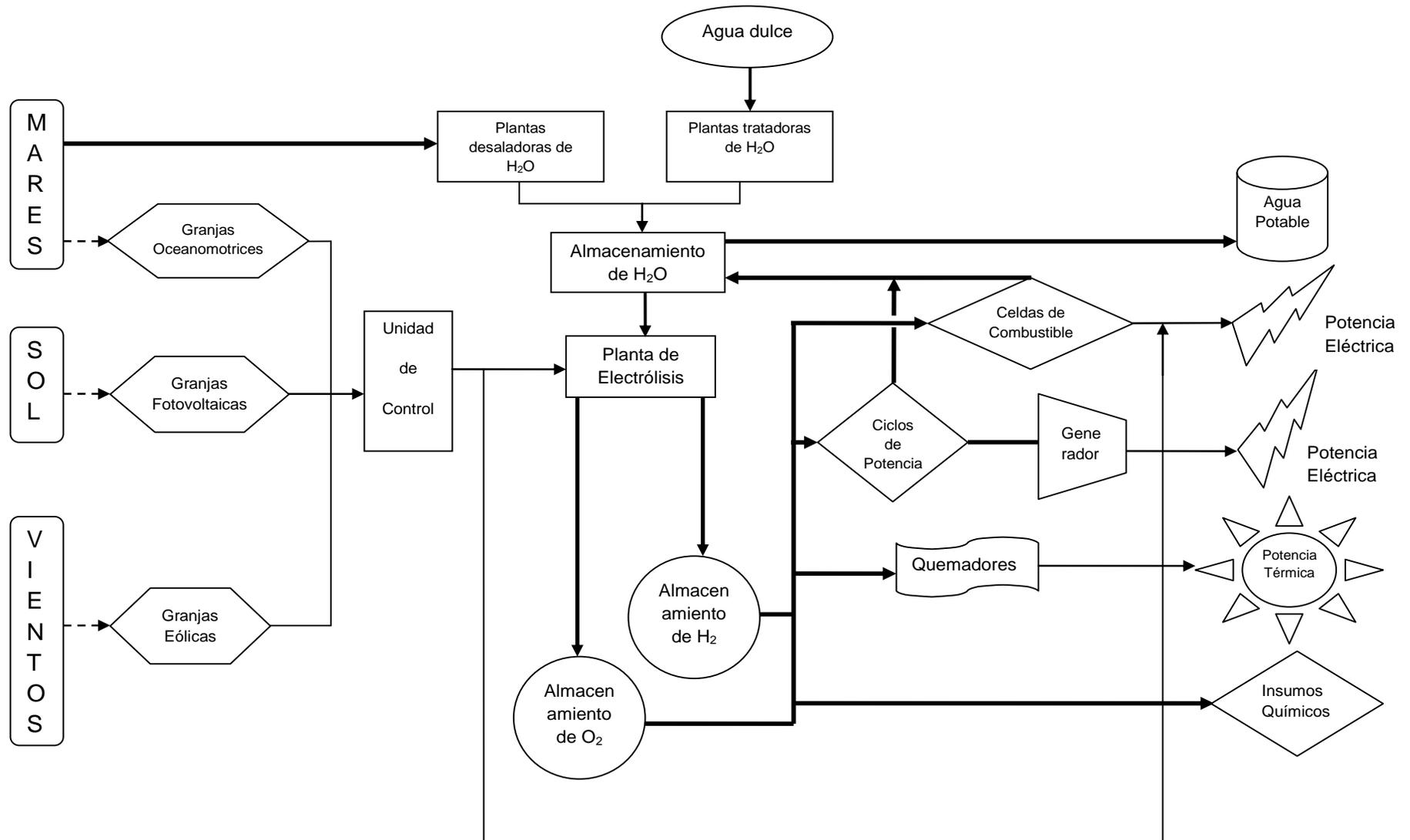
### **La trigeneración.**

En la actualidad, además de la cogeneración, se han desarrollado ya sistemas de trigeneración, que consisten en la producción de electricidad, calor y frío (por el método de absorción), a partir de una fuente energética. Es decir con una sola fuente de energía se producen tres tipos de aprovechamiento (electricidad, calor y frío). Para la producción de frío se emplea la refrigeración por absorción, que se basa en la propiedad que tienen ciertas sustancias (el bromuro de etilo por ejemplo) de absorber calor (por ejemplo calor residual procedente de la cogeneración) al cambiar de estado. Ese calor lo tiene que absorber otra sustancia (aire o agua por ejemplo), con lo que tenemos aire o agua fríos. La refrigeración por absorción tiene un rendimiento menor a la clásica por compresión, pero en el caso de la trigeneración, nos es útil para aprovechar un calor residual.

Existen actualmente instalaciones de tetra generación, que producen electricidad, calor útil, frío por absorción y energía mecánica (que se puede emplear para producir aire comprimido).

A continuación se ilustra el modelo general de un nodo costero para la hibridación de las energías renovables, su almacenamiento químico y sus aplicaciones para obtener potencia térmica, materias primas y agua potable.

Figura 3.4. Modelo de un Nodo Costero.



### 3.1 ENERGÍA EÓLICA

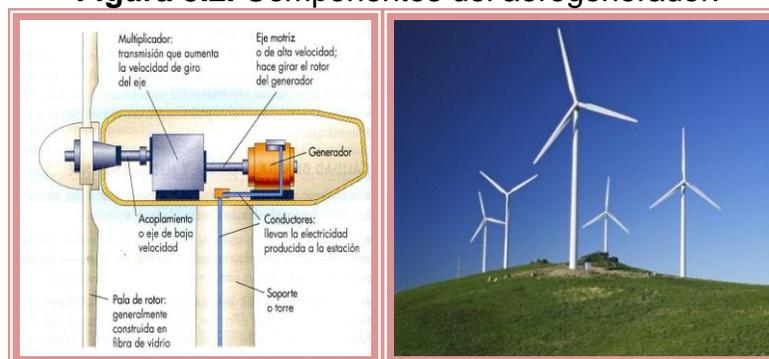
La energía eólica se puede definir como la energía que desarrolla el viento, para producir electricidad con aerogeneradores. Su principio de funcionamiento es muy sencillo: el viento mueve las palas de la hélice, que a su vez, a través de un sistema de engranes, mueven un generador que produce electricidad. Además en cuanto mayor es la velocidad del viento, mayor es la producción de energía y la electricidad producida es proporcional al área barrida por las paletas.

Los componentes de un aerogenerador son:

- **La hélice o rotor.** Es la parte expuesta al viento, que al girar sus paletas, transmiten la energía generada por su movimiento a una caja de engranajes.
- **Turbina o caja de engranajes.** Reciben la energía procedente de la hélice y la transmiten al generador.
- **Freno.** Necesario para regular el funcionamiento de la instalación.
- **Generador.** Equipo donde se produce electricidad a partir del movimiento.
- **Carcasa de protección.** Dentro de esta van los equipos del aerogenerador.
- **Torre.** Es la encargada de sujetar a los componentes de arriba citados. La torre se suele construir de acero o de hormigón.
- **Equipo de control.** Alojado en el inferior de la torre, para controlar el equipo.

Generalmente, los aerogeneradores aprovechan vientos con velocidad de 5 a 25 m/s. Con menos de 5 m/s los aerogeneradores son muy ineficientes y arriba de 25 m/s están diseñados para detener el giro de las aspas, con el objeto de evitar daños en los equipos del aerogenerador.

**Figura 3.2.** Componentes del aerogenerador.



Fuente: Proveedor Danesa de aerogeneradores (Vestas)

**Tabla 3.1.** Rango de trabajo de los aerogeneradores.

VELOCIDAD	RANGO	CARACTERÍSTICAS
De corte inferior	4-5 m/s	Velocidad mínima rentable
De corte superior	25 m/s	Velocidad máxima sin que peligre
Nominal	15 m/s	Alcanza potencia máxima

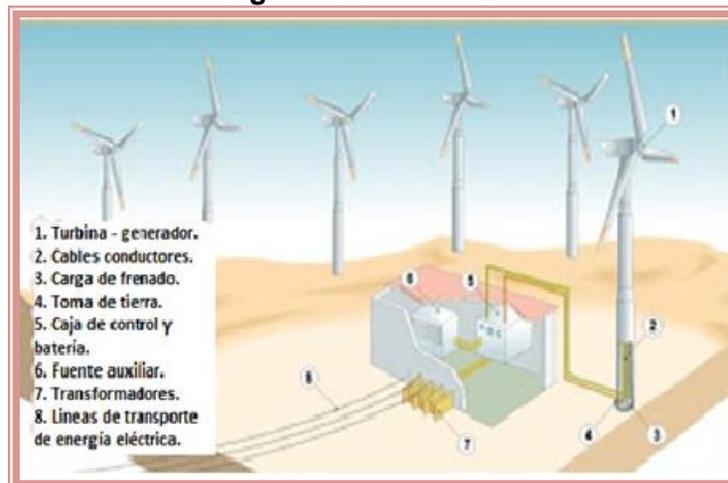
### 3.1.1 PARQUES EÓLICOS

Los parques eólicos son un conjunto de aerogeneradores que se sitúan en una zona apropiada, donde previamente se ha estudiado la frecuencia y la velocidad de los vientos, así como el impacto ambiental que puede causar la instalación.

Los componentes principales de los parques eólicos son:

- 1) **Turbina-generador.** Es donde están las máquinas que transforman la energía del viento en electricidad. Al conjunto se le conoce como “góndola”.
- 2) **Cables** que conducen la electricidad producida hasta en la batería.
- 3) **Carga de frenado.**
- 4) **Toma de tierra.** El viento al rozar con las partes del aerogenerador, produce una electricidad estática que eliminamos hacia la tierra, para evitar problemas.
- 5) **Caja de control y batería.** Aquí llega toda la electricidad producida por los aerogeneradores para su control, almacenamiento y posterior distribución.
- 6) **Fuente auxiliar.** Como no siempre existe viento suficiente para el funcionamiento de la instalación, se dispone de un generador auxiliar de electricidad.
- 7) **Transformadores.** Se encargan de elevar el voltaje de la electricidad producida.
- 8) **Línea de transporte** de energía eléctrica hacia la red principal de distribución.

**Figura 3.3.** Central Eólica.



Fuente: Asociación Española de la Industria Eléctrica (UNESA).

El arreglo físico de un proyecto eólico, consiste en la distribución de los aerogeneradores en el área destinada para la central. Generalmente, se distribuyen a lo largo de líneas paralelas que forman un ángulo recto con la dirección de los vientos dominantes. La separación entre las líneas de aerogeneradores y la separación entre cada aerogenerador dependen del diámetro del rotor de cada unidad. La separación debe ser calculada para que se minimice la interferencia entre turbinas y las pérdidas por arreglo cuando existen cambios en la dirección del viento.

Una amplia separación de los aerogeneradores producirá más energía, pero a expensas de más superficie terrestre, de más caminos, así como también de más cableado eléctrico.

### 3.1.2 Sistemas híbridos eólicos - solares

Como se ve en la siguiente foto, es posible el implementar aerogeneradores en el mar, la estructura de los aerogeneradores flotantes se monta en la zona costera y luego se traslada a alta mar, para beneficiarse de los vientos más rápidos (mayores a 8 m/s) y constantes que existen en ciertas zonas marinas.

**Figura 3.4.** Aerogeneradores flotantes.



Fuente: ([www.waveenergyfyn.dk](http://www.waveenergyfyn.dk))

El océano reúne abundante energía en forma de viento, olas y rayos solares. Toda esta energía podría integrarse en una plataforma flotante que genera energía renovable en lugar de petróleo. En muchos lugares no hay vientos de manera constante y por lo tanto no hay una generación de energía eléctrica confiable al cien por ciento, por esta razón se instala otra fuente de generación de energía eléctrica, que puede ser un sistema fotovoltaico autónomo, a este tipo de sistemas que utilizan dos fuentes distintas de generación de energía eléctrica, se les denomina sistemas híbridos. La confiabilidad es una de las principales ventajas de los sistemas híbridos eólico solar al complementarse las dos tecnologías. Este tipo de sistemas se recomiendan para la electrificación de comunidades rurales, para usos productivos y agroindustriales, centros eco turísticos, etc., ya que estas aplicaciones, requieren de energía eléctrica confiable y estable.

Hay que tener en cuenta que la profundidad del mar a unos 15-25 km de la costa suele ser, en el 90% de los casos, de 50-100 metros, por lo que este tipo de plataformas se pueden poner en casi todas las zonas costeras.

**Figura. 3.5** Plataforma flotante de energía híbrida



Fuente: Proveedor Danesa de aerogeneradores (Vestas)

## 3.2 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es obtenida directamente del sol. La radiación solar incidente en la Tierra se aprovecha por su capacidad para calentar. Esta energía se aplica para obtener calor y también para obtener electricidad. Se han desarrollado instalaciones solares en las que se utiliza la energía del sol para producir calor (temperaturas altas de 200 a 1000 °C). Este calor producido se transforma en vapor (de alta presión y temperatura), y este vapor se emplea para producir electricidad.

### 3.2.1 Energía Solar Fotovoltaica

Se denomina Energía Solar Fotovoltaica a una forma de obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Es posible producir electricidad por la acción directa de las radiaciones solares sobre paneles especiales que convierten las citadas radiaciones en electricidad. Estos paneles especiales están compuestos por unas “células fotovoltaicas” que es donde realmente tiene lugar la transformación de la energía luminosa (fotones) en electricidad (electrones en movimiento).

### 3.2.2 Las células fotovoltaicas (el efecto fotoeléctrico)

Llamamos materiales conductores de la electricidad (el cobre) a los que dejan pasar libremente ya que tienen electrones libres o que pueden liberarse fácilmente. Llamados materiales aislantes (plástico, papel) a los que oponen una enorme resistencia al paso de la corriente eléctrica.

Entre ambos extremos hay unos materiales llamados **semiconductores**. Los más conocidos son el silicio, el germanio y el arseniuro de galio. Estos materiales si están a 0 °k son aislantes, pero si reciben energía (luminosa por ejemplo), se encuentran más cerca de los conductores y pueden producir corrientes de electrones. Eso es exactamente lo que ocurre en las células fotovoltaicas, que suelen estar hechas de silicio. La electricidad generada es continua, por ello se emplea un inversor para pasarla a corriente alterna. En conjunto forman un panel solar fotovoltaico.

### 3.2.3 Paneles solares fotovoltaicos

También llamados módulos o colectores. Los paneles solares son la unión de células fotovoltaicas en serie, encapsuladas para protegerlas (en plástico transparente) y con un marco metálico para su montaje. Los paneles son unidades básicas de los sistemas de generación de electricidad a partir de energía solar.

Los paneles fotovoltaicos se dividen en:

- Cristalinas
- Mono cristalinas: se componen de secciones de un único cristal de silicio (Si), reconocibles por su forma circular u octogonal.
- Poli cristalinas: Están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.
- Amorfas: cuando el silicio no se ha cristalizado.

Las eficiencias de las células solares varían entre el 6% de aquellas basadas en silicio amorfo, mientras que las eficiencias de conversión de las células solares que se utilizan en los módulos fotovoltaicos comerciales (de silicio mono cristalino o poli cristalino) se encuentran en torno del 14-25%.

### 3.2.4 CENTRAL FOTOVOLTAICA

La figura nos presenta una instalación solar fotovoltaica para producir electricidad a partir de las radiaciones solares. Sus componentes principales son:

1. **Paneles de silicio.** Son captadores de las radiaciones luminosas del sol (fotones), que las transforman en una corriente eléctrica.
2. **Torre meteorológica.** Analiza las variables meteorológicas de la zona.
3. **Unidad de monitorización.**
4. **Sala de control.** Donde se realiza el control y la operación de toda la central.
5. **Sala de potencia.** Donde se encuentran los armarios de corriente continua, corriente alterna y el inversor.
6. **Armario de corriente continua.** Es el que recibe la corriente continua producida.
7. **Inversores.** Son los encargados de transformar la corriente continua en alterna.
8. **Armario de protección y control de la corriente alterna.** En este armario se recibe la corriente alterna precedente del inversor.
9. **Transformadores.** Son los encargados de elevar el voltaje de la electricidad.
10. **Línea de transporte de energía.** Envía la electricidad alterna a la red de distribución.

Figura 3.6. Central Fotovoltaica.



Fuente: Empresa Española, generadora, distribuidora de electricidad y gas natural (IBERDROLA)

### 3.3 ENERGÍA DE LAS OLAS Y LAS MAREAS

Las olas de mares, océanos, lagos, etc., son producto del viento al actuar sobre la superficie, produciendo energía cinética por el movimiento de las masas de agua.

Tenemos tres tipos de fuerza relacionada con el agua:

- **Energía hidráulica.** Generada por el agua de los ríos, debido a las diferencias de nivel, que se transforma en electricidad mediante turbinas.
- **Energía mareomotriz.** Se genera en los mares y océanos por las mareas.
- **Energía undimotriz.** Generada en mares y océanos por efecto de las olas.

### 3.3.1 Central Mareomotriz.

Para la colocación de estas centrales se buscan en la costa lugares como las bahías, ríos, estrechamientos en general, donde le agua penetre en la tierra, se aprovecha esta estrechez natural para colocar un dique. El funcionamiento de este sistema consiste en embalsar el agua cuando la marea sube (pleamar) en un dique, como energía potencial, para ser usada más tarde para mover turbinas hidráulicas cuando la marea baja (bajamar). La construcción de una central mareomotriz es sólo posible en lugares con una diferencia de al menos 5 metros entre la marea alta y la baja. Cuando comienza a bajar la marea se cierran las compuertas y se espera un tiempo, del orden de 3 horas, para alcanzar una diferencia de nivel adecuada entre el mar y el embalse.

A continuación, durante 5 ó 6 horas, se hace pasar el agua por las turbinas generando energía eléctrica.

Para que la fuerza de las olas sea mayor, se canaliza el mar por un túnel que se va estrechando hasta llegar a la central mareomotriz. De esta forma las olas adquieren mayor velocidad, y por lo tanto mayor energía cinética, que después se transformará en electricidad.

Las instalaciones mareomotrices cuentan con:

- Boca de mar entrante de la tierra.
- Compuertas para regular la entrada y salida de agua.
- Planta mareomotriz, donde se encuentran las turbinas para la producción de electricidad.
- Subestación eléctrica.
- Embalse.

**Figura 3.7.** Central Mareomotriz

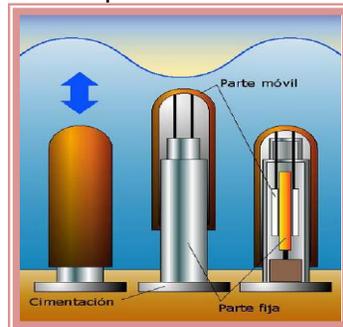


Fuente: Oscillating Water Column (OWC)

### 3.3.2 Columpio de las Olas de Arquímedes

El columpio de las olas de Arquímedes (*Archimedes Wave Swing, AWS*), es un sistema totalmente sumergido, que extrae energía de las olas aprovechando el movimiento de subida y bajada de las mismas olas. En este sistema, la energía de las olas se transfiere a un movimiento relativo lineal, de arriba abajo, entre dos cilindros. El cilindro inferior se fija al fondo del mar mientras el cilindro superior, también llamado flotador, se mueve arriba y abajo accionado por las olas. Simultáneamente, imanes unidos al cilindro superior, se mueven a lo largo de una bobina para generar electricidad. Después esa electricidad se envía a tierra mediante un cable submarino.

**Figura 3.8.** Columpio de las Olas de Arquímedes

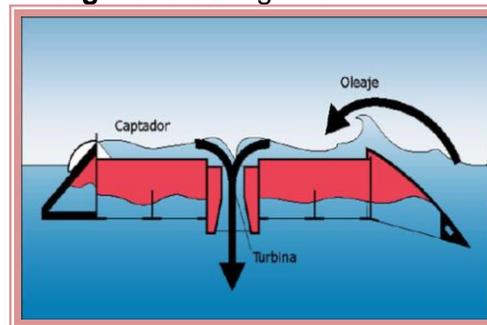


Fuente: Ocean Power Technologies (OTP).

### 3.3.3 El Dragón de olas

El Dragón de olas (*The Wave Dragón*), es un dispositivo flotante que utiliza el mismo principio que los denominados canales ahusados (*Tapchan*), pero que usa un par de reflectores curvos (de un diseño patentado) para recoger las olas y subirlas por una rampa a un depósito donde el agua es liberada a una turbina situada en la parte inferior. Un modelo a pequeña escala ya ha sido ensayado y el modelo a escala 1:1, que se estima tendrá una generación pico de 4MW, dispondrá de unos brazos reflectores de 227 metros.

**Figura 3.9.** Dragón de las olas



Fuente: EarthVision

### 3.3.4 Central de Energía Océano-Termal (OTEC)

Se puede generar electricidad aprovechando la diferencia de temperatura entre las aguas superficiales cálidas y las frías del fondo. El océano es el mayor colector de energía solar del mundo, debido a esto, varios países continúan persiguiendo el objetivo de convertir una

fracción de esa energía en electricidad. Dicha técnica se conoce como OTEC por sus siglas inglesas, que significan “Conversión de la Energía Térmica del Océano”.

La misma técnica podría proporcionar agua dulce, refrigeración y aire acondicionado, así como facilitar la piscicultura. La planta puede situarse en tierra, a poca distancia de la costa o a bordo de un barco que se desplace de un punto a otro. La electricidad puede ser transmitida a tierra por cables submarinos, o ser utilizada en la planta misma, para la elaboración de metanol, hidrogeno, metales refinados, y amoniaco.

Un beneficio adicional es la conversión de agua marina en agua dulce. Por cada megavatio de electricidad producida, una planta OTEC puede suministrar 1, 200,000 litros de agua dulce por día (Romero, 2012). Además, el agua fría que se obtiene desde las profundidades del océano contiene muchos nutrientes que podría utilizarse en la acuicultura

**Figura 3.10. OTEC**



Fuente: Offshore Infrastructure Associates.

En un sistema OTEC, la fuente de energía térmica es el agua cálida del mar, la cual genera electricidad a través de dos métodos.

Uno de ellos (trabaja con un fluido de punto de ebullición bajo) opera en ciclo cerrado. En esta operación, el sistema contiene el líquido operante y lo recicla de modo continuo, de forma similar al líquido operante de un refrigerador; este sistema utiliza un líquido operante con un punto de ebullición bajo como el amoniaco o el freón. El líquido se bombea a través de un evaporador, donde se evapora por acción del agua cálida del mar que se alimenta mediante la tubería correspondiente. El vapor hace girar una turbina conectada a un generador de electricidad. El vapor descargado de la turbina, a baja presión, pasa por un condensador, donde se enfría con agua bombeada de las profundidades marinas comprendidas entre 600 y 1000 metros, a través de la tubería de agua fría. Las bombas devuelven el líquido operante condensado al evaporador, para repetir nuevamente el ciclo.

El sistema de baja presión, trabaja en ciclo abierto. En la operación, el líquido operante es agua caliente de mar en constante renovación. Esta hierve violentamente en la cámara de vacío, produciendo vapor de baja densidad.

La cámara de vacío permite que un sistema de ciclo abierto funcione a presiones equivalentes a las que prevalecen en altitudes comprendidas entre 27 y 30 km sobre la superficie de la tierra, el vapor resultante mueve una turbina que genera electricidad. Siempre y cuando exista una diferencia de unos 20° entre la capa superior cálida y la de agua fría del fondo, se puede generar en principio, cantidades útiles de energía eléctrica.

### 3.4 ENERGÍA OSMÓTICA

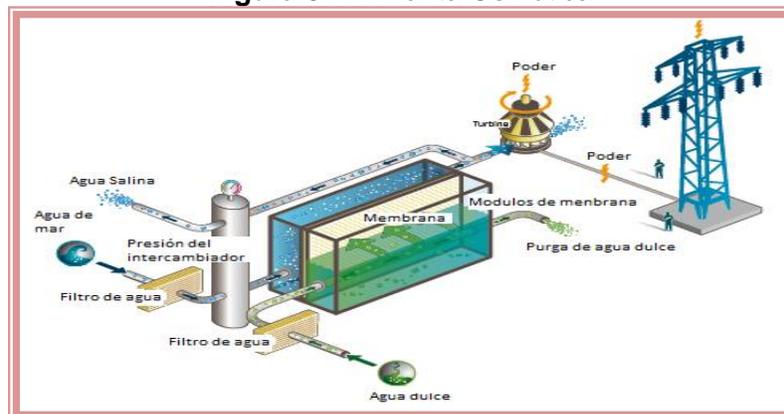
La ósmosis se presenta cuando enormes cantidades de energía son liberados y el agua dulce se encuentra con agua salada, por ejemplo, cuando un río desemboca en el mar. La ósmosis es el transporte de agua de un área con baja concentración de oxígeno y algunas sustancias disueltas (por ejemplo, sal), a través una membrana a un área con una concentración más alta. La membrana es semipermeable y permite que algunas sustancias pasen, pero detiene otras. La naturaleza tratará de igualar la diferencia en la concentración entre los dos lados de la membrana. A medida que el agua se extrae a través la membrana, se genera presión en el "Interior", que en una planta de energía osmótica puede ser utilizada para generar electricidad.

#### 3.4.1 Planta de Energía Osmótica

Noruega y Holanda son países que están investigando nuevas técnicas para generar energías limpias, siendo su proyecto más ambicioso las plantas de energía osmótica. Pues bien, Noruega inauguró en la primavera del 2009 la primera planta de energía osmótica del planeta.

La planta, creación de la empresa Statkraft, se ha creado principalmente para probar y seguir investigando cómo mejorar los procesos de producción de este tipo de energía, aún existen importantes escollos que salvar: reducir costos y mejorar la eficiencia de las membranas, con lo que el verdadero objetivo de crear una planta comercial de energía osmótica, está mucho más cerca.

Figura 3.11. Planta Osmótica



Fuente: Compañía creadora de plantas osmóticas. Statkraft

Una planta de energía osmótica, funciona con agua dulce y agua de mar en dos cámaras, separados por una membrana semipermeable. El agua se alimenta en la planta a través de tuberías, posteriormente, pasa a través de filtros para eliminar humus y partículas que pueden obstruir las membranas.

Desde el módulo de agua dulce, el agua migra a través de la membrana hacia la zona de agua de mar haciendo que la presión del agua aumente. Esto se traduce en un exceso de agua de mar diluida la cual se divide en dos corrientes. Una tercera parte de agua de mar a presión se utiliza para la generación de energía en una turbina, para obtener un mayor beneficio del proceso, la parte restante del agua de mar pasa a la planta productora de sales y así poder tener una mayor producción.

La planta que se encuentra en funcionamiento en Noruega, utiliza 10 litros de agua dulce y 20 litros de agua salada por segundo y produce 10 kW aproximadamente. Con una eficiencia de membrana de  $5 \frac{W}{m^2}$ , se logra una producción de 25 MW y se requieren 5 km<sup>2</sup> de área de membrana (Statkraft, 2012).

Las plantas de energía osmótica pueden funcionar siempre que la concentración de la sal sea lo suficientemente alta y con la ayuda de energías renovables, Estas plantas no se ven afectadas por el tiempo y producirán electricidad de manera continua y predecible.

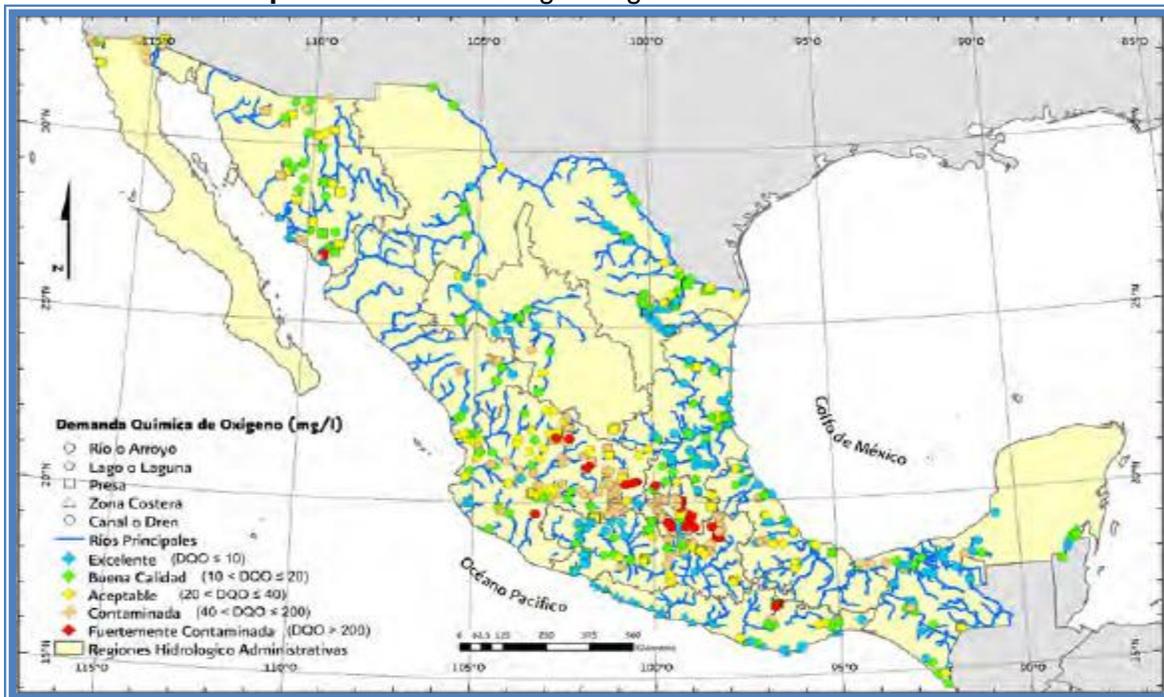
Se plantea que para la planta osmótica sea seleccionado un río que desemboque en el mar para de esta manera ahorrar energía, evitando el transportar el agua largas distancias, debido a esto fue seleccionado el río Tehuantepec, de 240 km de longitud, desagua 31 m<sup>3</sup>/s en el golfo del mismo nombre.

**Mapa 19.** Principales ríos de México



Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

En el mapa 20 demos observar la calidad del agua del río Tehuantepec, de acuerdo a los parametros de la CONAGUA, para así poder determinar si es conveniente el hacer uso del agua de este río.

**Mapa 20.** Calidad del agua según indicador DQO 2011.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

Para la evaluación de la calidad del agua se utilizan tres indicadores principales: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST). La DBO y la DQO se utilizan para la estimación de la materia orgánica en los cuerpos de agua, mientras que los SST miden todos aquellos sólidos que no se disuelven en el agua, y quedan suspendidos. En base a dichos parámetros, la CONAGUA reporta el río Tehuantepec con una calidad del agua de buena a excelente, lo que resulta benéfico para la planta osmótica.

Es importante mencionar que si la planta en un futuro fuera puesta en funcionamiento se tendrían que tramitar los permisos con las autoridades pertinentes, además de con los miembros de la comunidad por donde atraviesa el río, para el uso del agua necesaria.

### 3.5 ELECTRÓLISIS DEL AGUA

El proceso mediante el cual una corriente eléctrica produce un cambio químico se llama electrólisis. En la electrólisis se utiliza la energía eléctrica para inducir una reacción química. Este proceso se lleva a cabo en un dispositivo que se conoce como celda electrolítica, esta celda es formada por un par de electrodos de un metal inerte, como el platino, sumergidos en agua.

El caso del agua, es una de las evidencias de la relación que existe entre la electricidad y la materia, ya que a través de dicho procedimiento, el agua se puede separar en sus componentes, es decir, en hidrógeno y oxígeno si se conecta un dispositivo de conductividad a una corriente directa que posea dos electrodos de los cuales uno será negativo y el otro positivo. Al electrodo negativo se le denomina cátodo y el positivo ánodo.



### 3.6 Producción de sales por el método de evaporación solar de agua de mar

De acuerdo a los diversos estudios realizados, hoy se sabe que el agua de mar está constituida por diversos elementos tales como: Calcio (Ca), Azufre (S), Magnesio (Mg), Cloro (Cl), Potasio (K), Sodio (Na), Bromo (Br), Carbón (C), Nitrógeno (N), Estroncio (Sr), Oxígeno (O), etc. Todos estos elementos están presentes en menor o mayor cantidad tanto en el agua de mar como en la salmuera que se forma al evaporarse el agua.

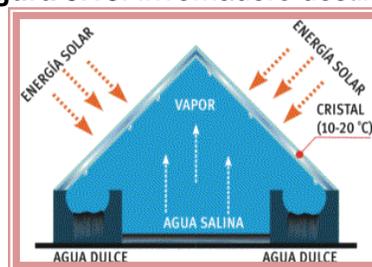
Algunos elementos presentes en el agua de mar reaccionan durante el proceso de evaporación formando así diversas sales: estas comienzan a incrementar su densidad conforme avanza el proceso de evaporación formándose así cristales que posteriormente precipitarán. La sal que se obtiene en mayor cantidad cuando el agua de mar se evapora es el cloruro de sodio y esta misma es también la más utilizada de todas.

El proceso de obtención de la sal se divide en dos etapas básicas: concentración y cristalización.

#### 3.6.1 Concentración

El objetivo de esta etapa del proceso consiste en obtener salmuera saturada, rica en cloruro de sodio. El agua de mar es bombeada hacia los vasos de concentración (invernadero destilador), donde se incrementa gradualmente su densidad debido a la acción del sol, que va evaporando el exceso de agua gracias a que los vasos de concentración cuentan con techos de cristal los cuales ayudan a la recuperación del agua evaporada hasta que alcanza el punto de saturación del cloruro de sodio. Generando así salmuera saturada y obteniendo también agua dulce.

Figura 3.13. Invernadero destilador



#### 3.6.2 Cristalización

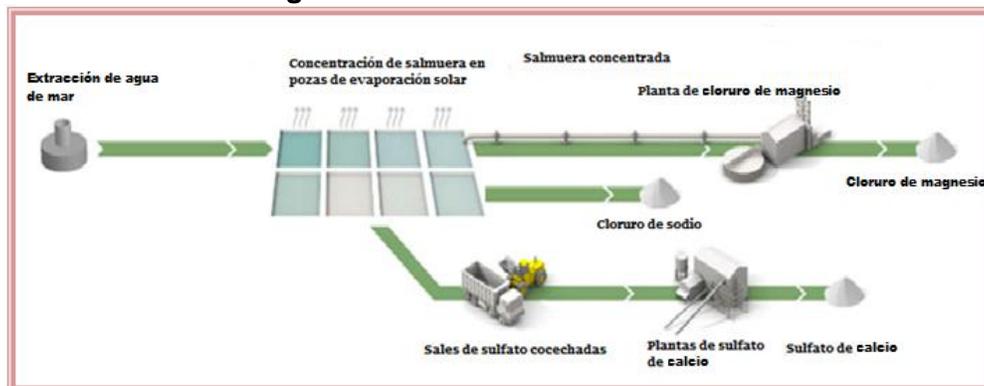
El objetivo de esta fase del proceso es cristalizar las sales de cloruro de sodio contenidas en la salmuera saturada que genera el área de concentración. La salmuera se alimenta al área de vasos cristalizadores, depositándose cristales de sal, para luego formar una nueva capa en el fondo de los vasos, esto es, sobre la parte superior del piso de sal.

La salmuera es evaporada hasta que su densidad y por lo tanto su concentración aumenten más, esta es la salmuera residual del proceso.

La sal producida en los vasos cristalizadores, se cosecha, lava y se transporta hacia las instalaciones de almacenaje y drenado, donde permanecen al menos durante dos meses, con la finalidad de permitir que la sal drene para así incrementar su calidad.

La salmuera residual se bombea fuera de los cristalizadores, hacia el área de vasos receptores de salmuera residual donde, continúa su proceso natural de evaporación y también precipitan, cloruro de magnesio y sulfato de calcio que se encuentran presentes.

**Figura 3.14.** Proceso de la salmuera.



Fuente: SQM Salar.

En el caso de que esta planta fuera construida, es necesario el tramitar todos los permisos concernientes con las autoridades ambientales y del gobierno, para poder suministrar la planta con la cantidad de agua de mar necesaria para su producción.

### 3.7 GRANJA DE ACUICULTURA

La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos incluido peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas. El cultivo implica algún tipo de intervención durante el proceso para aumentar la producción, como por ejemplo la siembra regular, alimentación, protección frente a depredadores, etc. El éxito de la acuicultura moderna se basa en el control de la reproducción de especies, un mejor conocimiento de la biología, innovaciones tecnológicas y el desarrollo de productos alimenticios seguros y de alta calidad.

Algunas de las principales actividades desarrolladas por la acuicultura son:

- **La domesticación.** Es la aclimatación de organismos acuáticos a condiciones de cautividad, el control total del ciclo de vida y la manipulación de la reproducción. Las diversas características que determinan la idoneidad de una especie para ser domesticada son: mejor crecimiento (cantidad y calidad); mejor resistencia a situaciones de estrés que pueden producirse en las instalaciones de acuicultura.
- **La introducción de especies.** Esta actividad se lleva a cabo debido a las actividades humanas, las especies marinas introducidas se trasladan a zonas fuera de su hábitat natural, pudiendo amenazar la salud de los seres humanos, los valores económicos y medioambientales. Existen dos posibles vías para esta introducción.

La introducción “voluntaria” de especies para su explotación acuícola y la introducción “accidental” de especies que van asociadas a las especies que se desean introducir

- **La recolección** de semillas o juveniles silvestres se ha realizado a nivel mundial para su posterior crianza y su posterior reproducción en los criaderos.
- **Alimentación.** A los organismos cultivados se les tiene que proporcionar alimento para aumentar su productividad. Algunas especies filtradoras, como los mejillones, almejas u ostras, obtienen el alimento directamente de la columna de agua que los rodea. Pero en la mayoría de casos (todos los peces y crustáceos) es el acuicultor quien debe proporcionar el alimento.
- **Ubicación.** Se deberá escoger la mejor ubicación tomando en cuenta que la materia orgánica proveniente de granjas acuícolas debe poder ser asimilada por el ecosistema receptor, cualitativa y cuantitativamente, y por lo tanto, no producir impactos negativos sobre el ecosistema local.

**Figura 3.15.** Granja de acuicultura



Fuente: Foto de Guzel Yucel-Gier

### 3.8 DESCRIPCIÓN DEL CENTRO COSTERO DE ENERGÍA (CCE)

A continuación serán descritas de manera general todas las plantas y los respectivos productos que componen el Centro Costero de Energía.

#### 3.8.1 Central Eólica (para mayor información consultar Anexo 2.1)

En el presente trabajo se considera que el CCE genere 3.0983 GW de energía eólica, tomando en cuenta que el estado de Oaxaca son producidos 0.5918 GW (591.875 MW) de energía, entonces se diseñara una instalación que suministre los 2.5062 GW restantes que se requieren.

Para cubrir la demanda necesaria se implementara un parque eólico en cuyas instalaciones contarán con:

Parques eólicos	Núm. de equipos	Capacidad por equipo (KW)	Energía producida (GW)
1	2785	1500	2.5065

Tomando en cuenta la producción de los parques instalados en la actualidad además de la que será generada con la instalación del nuevo parque tenemos que la energía eólica total producida en Salina Cruz, Oaxaca es de:

$$0.5918 \text{ GW} + 2.5062 \text{ GW} = 3.0983 \text{ GW}$$

Para este nuevo parque eólico se considera un arreglo de 40 filas de aerogeneradores con un espacio entre cada fila de dos diámetros de rotor, las cuales estarán integradas por 68 aerogeneradores y solo una fila con 65, cuyo espaciado entre ellos será igual al espacio entre cada fila. Lo que nos dará un área total de  $44.27 \text{ Km}^2$  de parque.

### 3.8.2 Central solar (para mayor información consultar Anexo 2.2)

Se contempla que la energía generada mediante la energía del sol sea de aproximadamente 2.4 GW. Para lo cual será tomada en cuenta la irradiación solar máxima de Salina Cruz, Oaxaca cuyo valor es:  $6.6 \text{ kWh/m}^2\text{-Día}$ . Otro aspecto importante que se contemplo es la eficiencia del 12-25% que manejan los paneles fotovoltaicos actualmente. Por lo tanto se tiene que:

1 $\text{km}^2$ de paneles fotovoltaicos generan	—————>	0.20625 GW de energía, por lo tanto:
11.64 $\text{km}^2$ de paneles fotovoltaicos generan	—————>	2.4 GW de energía

De esta manera sabemos que será necesario instalar  $11.64 \text{ km}^2$  de paneles fotovoltaicos en el CCE.

### 3.8.3 Central osmótica (para mayor información consultar Anexo 2.3)

En cuanto a la energía osmótica se espera que genere  $1 \cdot 10^{-3} \text{ GW}$  (1 MW) de energía, para lo cual consideraremos los siguientes datos:

Esta planta utiliza 10 litros de agua dulce y 20 litros de agua salada por segundo. Tiene una potencia de salida de 10 kW aproximadamente. Con una eficiencia de membrana de  $5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  se logra una producción de 25 MW y se requieren  $5 \text{ km}^2$  de área de membrana (Statkraft, 2012).

Por lo tanto para generar 1 MW se alimentan:  $1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  de  $\text{H}_2\text{O}_{\text{dulce}}$ ,  $2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  de  $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$  y se requeriría de  $0.2 \text{ km}^2$  de área de membrana.

Además si se recupera el agua salada de la planta y se transporta a la planta productora de sal se producirían anualmente:  $18 \cdot 10^4 \text{ ton NaCl}$ ,  $856 \text{ ton MgCl}_2$ ,  $8746 \text{ ton CaSO}_4$  y se obtendrán  $338 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}_{\text{dulce}}$ .

### 3.8.4 Central de energía océano-termal (OTEC) (para mayor información consultar Anexo 2.4)

La energía que se estima que produzca mediante la operación de la central OTEC es  $1 \cdot 10^{-3} \text{ GW}$ , la cual funcionaría a ciclo abierto.

Un dato que se debe señalar es el que la planta funciona con agua de mar y como subproducto se obtiene agua dulce la cual podrá posteriormente ser de utilidad.

Para el funcionamiento y generación de 0.1 GW (100 MW), se requieren alimentar  $3.7 \cdot 10^7 \frac{m^3}{día}$  de  $H_2O_{mar}$  y se producen  $215\,000 \frac{m^3}{día}$  de  $H_2O_{dulce}$ , (Romero, 2012).

Po lo tanto para generar  $1 \cdot 10^{-3}$  GW de energía se necesitan  $4.38 \frac{m^3}{s}$  de  $H_2O_{mar}$  y se obtienen  $0.025 \frac{m^3}{s}$  de  $H_2O_{dulce}$ .

### 3.8.5 Central de energía híbrida eólico-solar (para mayor información consultar Anexo 2.5)

Este sistema de generación de energía contará con paneles fotovoltaicos además de aerogeneradores, esta instalación estará ubicada en el mar para así aprovechar aun más los recursos de los mares. La energía que se espera sea generada mediante este sistema es de 3.4 GW de los cuales 1.5 serán producidos por aerogeneradores y 1.9 por paneles fotovoltaicos.

Los aerogeneradores que se plantea sean instalados en este sistema son de una mayor potencia.

Parques eólicos	Núm. de equipos	Capacidad por equipo (KW)	Energía producida (GW)
1	836	3000	1.5048

En este caso el arreglo de los aerogeneradores estará formado por 22 filas y cada una contara con 38 aerogeneradores (la separación entre filas y equipos es la misma anteriormente descrita), de modo que se requiere de un área de  $13.28 \text{ km}^2$ .

En cuanto a los paneles fotovoltaicos se harán las mismas consideraciones que en el caso anterior del diseño de estos, lo que cambiara únicamente es el área necesaria para cubrir la energía, que en este caso será de  $9.22 \text{ km}^2$  de paneles fotovoltaicos.

### 3.8.6 Granja acuícola

Se planea que el CCE cuente con una granja acuícola para de esta manera además de ser una fuente de empleos, se podrán exportar los productos de dicha granja y servirá también para impulsar el turismo ya que sería la fuente de abastecimiento de hoteles, restaurantes y el consumo local.

### 3.8.7 Planta productora de sal (para mayor información consultar Anexo 2.6)

De acuerdo con ESSA (Exportadora de Sal S.A de C.V., 1990) al evaporar un kilogramo de agua mar se obtienen 29.55 ml de salmuera y teóricamente se tienen 25.96 g de NaCl, 0.124 g de  $MgCl_2$ , 1.149 g de  $CaSO_4$ .

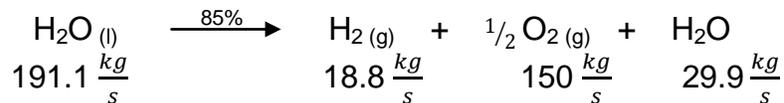
En esta ocasión nos basaremos en la experiencia de esta productora de sal, por lo que se tomará una eficiencia de evaporación solar real y del invernadero solar de 47.8%.

Suponiendo un flujo de entrada a la planta de  $551 \cdot 10^5 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}_{\text{mar}}$  anuales y tomando en cuenta la densidad del agua de mar ( $1024 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ), se tiene que la planta contara con:  $564 \cdot 10^5$  Ton de  $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ , de las cuales se obtendrán: 695 468.4 ton NaCl, 6 993.6 ton  $\text{MgCl}_2$  y 71 458.8 ton  $\text{CaSO}_4$ .

En este trabajo se plantea la recuperación del agua que se evapora durante el proceso de concentración de la salmuera, para cuantificar la cantidad de agua que se obtendrá como subproducto de la planta, tenemos que:  $5.64 \cdot 10^{10} \text{ kg}$  de  $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$  tienen  $25\,531\,710 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}_{\text{dulce}}$  y suponiendo que la planta trabaja 8 h diarias se tiene que; se alimentan  $5.24 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  de  $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$  y se obtienen  $2.43 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  de  $\text{H}_2\text{O}_{\text{dulce}}$ .

### 3.8.8 Central de electrólisis (para mayor información consultar Anexo 2.7)

El objetivo de la planta de electrólisis del agua con que se contempla cuenta el CCE, es el poder almacenar la cantidad suficiente de  $\text{H}_2$  para poder producir 2 GW de energía. Cabe mencionar que para producir 1 GW se requieren de  $18.8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$  de  $\text{H}_2$  (Dirzo, 2007), además se tomara en cuenta que los equipos de electrólisis más modernos cuentan con una eficiencia del 85%. Entonces se tiene que:



Estas cantidades son las que se necesitan almacenar para producir 1 GW, por lo que es necesario alimentar  $0.8 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  de  $\text{H}_2\text{O}$  para generar 2GW y se tienen  $0.12 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  de  $\text{H}_2\text{O}$  como subproducto (tomando en cuenta la densidad del agua de  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ).

### 3.8.9 Central mareomotriz (TAPCHAN) (para mayor información consultar Anexo 2.8)

En el caso de esta central se estima que genere 0.5 GW de energía, por lo que se necesitaría el implementar una central de 24.2 km de longitud además cuenta con un canal de 10 metros de alto (7 metros debajo del mar y 3 metros por encima). Un detalle importante es que esta central se ubicará en un área un poco alejada del CCE, esto es debido a que en la Laguna Oriental, se localizo mediante imágenes satelitales el lugar más adecuado creado naturalmente para la instalación de esta central.

### 3.8.10 Dragón de las olas (para mayor información consultar Anexo 2.9)

En este caso se estima que el dragón sea capaz de suministrar al Centro 0.5 GW de energía, debido a que este equipo genera 8 MW contando con 0.25 km de brazos reflectores, entonces se planea el diseñar un dragón de 15.7 km para así obtener la potencia deseada de 0.5 GW.

Se contempla que este dispositivo pueda ser adaptado a la parte exterior del dique para que de esta manera se aproveche el área dispuesta para el CCE.

### **3.8.11 Columpio de las olas de Arquímedes (AWS) (para mayor información consultar Anexo 2.10)**

Como en los dos casos anteriores se espera obtener una menor cantidad de energía, esta vez será de solo 0.1 GW mediante estos dispositivos los cuales cuentan con una capacidad de producir 2 MW cada uno, de esta manera resulta necesario el contar con por lo menos 50 AWS para generar así los 0.1 GW de energía.

### **3.8.12 Estación férrea**

Tomando en consideración que unos de los objetivos del CCE es el producir energía de manera limpia, se establece que el medio de transporte para dicho centro sea el ferrocarril eléctrico, esta parece la mejor opción si se tiene en cuenta que será posible el suministro de la energía necesaria para su funcionamiento sin mayor problema. Además que se espera este se convierta en la principal forma de desplazamiento de todo el estado, que podría rehabilitar y construir más instalaciones para este transporte.

La implementación de una estación de ferrocarril es sumamente necesario y benéfica si se toma en cuenta el que a todas las diversas tecnologías que constituirán el CCE se les tendrá que dar mantenimiento, además, este sería también transporte para llegar a todas las plantas de proceso.

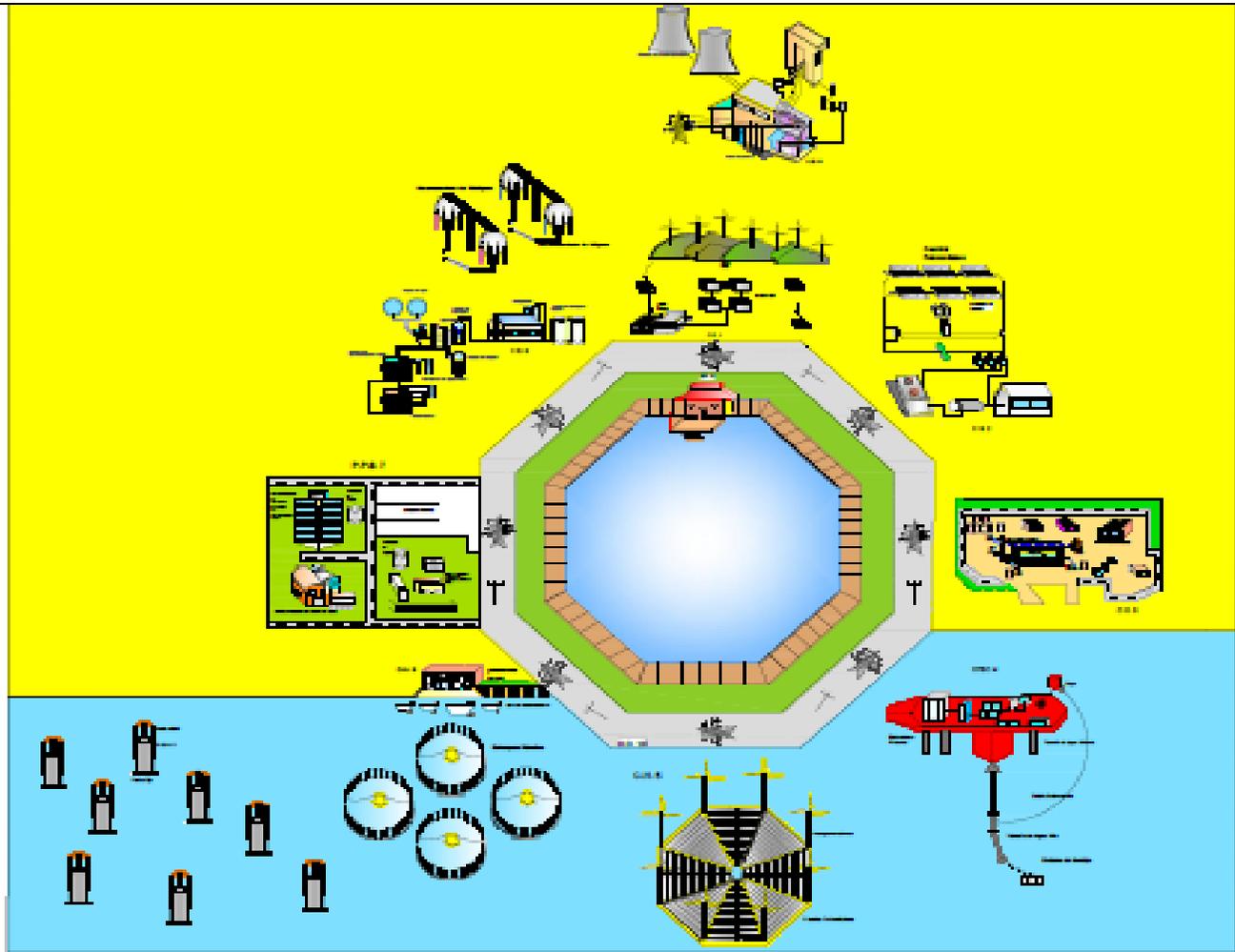
Esto no significa que no se contara con carreteras, pero se pretende que el uso de los autos sea sustituido en su gran totalidad por el tren eléctrico y de esta manera reducir aún más la contaminación no solo del estado, sino también del país.

### **3.8.13 Central eléctrica**

En lo que respecta a la central eléctrica se pretende que esta sea la encargada del control y la distribución de energía eléctrica incluyendo a las instalaciones costeras.

### **3.8.14 Centro de almacenamiento de hidrógeno y oxígeno**

Resulta necesario el contar con un centro de almacenamiento de hidrógeno y oxígeno ya que estos resultan ser los productos que se obtienen de la electrólisis del agua además de que esto significa que podemos garantizar el suministro de la energía en caso de falla de alguna central de producción de energía, también estos productos pueden ser utilizados en diferentes procesos, lo cual implicaría un mayor desarrollo y crecimiento en el estado debido a que se instalarían un mayor número de industrias en este lugar aparte de convertirse en exportador de dichos productos.



LISTA DE EQUIPO PRINCIPAL	
CLAVE	DESCRIPCIÓN
C.E. 1	CENTRAL EÓLICA
C.E. 2	CENTRAL SOLAR
C.O. 3	CENTRAL OSMÓTICA
C.T.E. 4	CENTRAL DE ENERGÍA GEOTÉRMICA
C.H. 5	CENTRAL HÍBRIDA
G.A. 6	GRANJA ACUÍCOLA
P.P.S. 7	PLANTA PRODUCTORA DE SAL
C.E. 8	CENTRAL DE ELECTROLISIS
C.M. 9	CENTRAL MAREOMÉTRICA
C.O. 10	GRUPO DE LAS OLAS
C.O.A. 11	GRUPO DE LAS OLAS DE ANQUEMÓN
C.F. 12	ESTACIÓN FERROVIARIA
C.E. 13	CENTRAL ELÉCTRICA

RESUMEN DE DATOS Y UNIDADES											
UNIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1000	2	1000	3	1000	4	1000	5	1000	6	1000
7	1000	8	1000	9	1000	10	1000	11	1000	12	1000
13	1000	14	1000	15	1000	16	1000	17	1000	18	1000
19	1000	20	1000	21	1000	22	1000	23	1000	24	1000
25	1000	26	1000	27	1000	28	1000	29	1000	30	1000
31	1000	32	1000	33	1000	34	1000	35	1000	36	1000
37	1000	38	1000	39	1000	40	1000	41	1000	42	1000
43	1000	44	1000	45	1000	46	1000	47	1000	48	1000
49	1000	50	1000	51	1000	52	1000	53	1000	54	1000
55	1000	56	1000	57	1000	58	1000	59	1000	60	1000
61	1000	62	1000	63	1000	64	1000	65	1000	66	1000
67	1000	68	1000	69	1000	70	1000	71	1000	72	1000
73	1000	74	1000	75	1000	76	1000	77	1000	78	1000
79	1000	80	1000	81	1000	82	1000	83	1000	84	1000
85	1000	86	1000	87	1000	88	1000	89	1000	90	1000
91	1000	92	1000	93	1000	94	1000	95	1000	96	1000
97	1000	98	1000	99	1000	100	1000	101	1000	102	1000
103	1000	104	1000	105	1000	106	1000	107	1000	108	1000
109	1000	110	1000	111	1000	112	1000	113	1000	114	1000
115	1000	116	1000	117	1000	118	1000	119	1000	120	1000
121	1000	122	1000	123	1000	124	1000	125	1000	126	1000
127	1000	128	1000	129	1000	130	1000	131	1000	132	1000
133	1000	134	1000	135	1000	136	1000	137	1000	138	1000
139	1000	140	1000	141	1000	142	1000	143	1000	144	1000
145	1000	146	1000	147	1000	148	1000	149	1000	150	1000
151	1000	152	1000	153	1000	154	1000	155	1000	156	1000
157	1000	158	1000	159	1000	160	1000	161	1000	162	1000
163	1000	164	1000	165	1000	166	1000	167	1000	168	1000
169	1000	170	1000	171	1000	172	1000	173	1000	174	1000
175	1000	176	1000	177	1000	178	1000	179	1000	180	1000
181	1000	182	1000	183	1000	184	1000	185	1000	186	1000
187	1000	188	1000	189	1000	190	1000	191	1000	192	1000
193	1000	194	1000	195	1000	196	1000	197	1000	198	1000
199	1000	200	1000	201	1000	202	1000	203	1000	204	1000
205	1000	206	1000	207	1000	208	1000	209	1000	210	1000
211	1000	212	1000	213	1000	214	1000	215	1000	216	1000
217	1000	218	1000	219	1000	220	1000	221	1000	222	1000
223	1000	224	1000	225	1000	226	1000	227	1000	228	1000
229	1000	230	1000	231	1000	232	1000	233	1000	234	1000
235	1000	236	1000	237	1000	238	1000	239	1000	240	1000
241	1000	242	1000	243	1000	244	1000	245	1000	246	1000
247	1000	248	1000	249	1000	250	1000	251	1000	252	1000
253	1000	254	1000	255	1000	256	1000	257	1000	258	1000
259	1000	260	1000	261	1000	262	1000	263	1000	264	1000
265	1000	266	1000	267	1000	268	1000	269	1000	270	1000
271	1000	272	1000	273	1000	274	1000	275	1000	276	1000
277	1000	278	1000	279	1000	280	1000	281	1000	282	1000
283	1000	284	1000	285	1000	286	1000	287	1000	288	1000
289	1000	290	1000	291	1000	292	1000	293	1000	294	1000
295	1000	296	1000	297	1000	298	1000	299	1000	300	1000

Nota:  
 1. Se han considerado:  
 2. Para el cálculo de los costos.  
 3. En sus respectivos.  
 4. Por el momento.

**U.N.A.M.**  
**FES ZARAGOZA**

**DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO**  
**CENTRO COSTERO DE ENERGÍA**

LUIS GUZMÁN RUBI  
 REVISADO POR:  
 M. M. L. SÁNCHEZ DE LOS RÍOS  
 27 DE MARZO DEL 2012

## CONCLUSIONES

En el caso de la producción de electricidad mediante energías renovables podría parecer que es más costoso que el generarla como hasta ahora, pero si se consideran los costos ocultos de la quema de los hidrocarburos en su impacto negativo sobre la salud y los ecosistemas, resulta que éstos son iguales o más caros, además si se contempla la producción de hidrógeno y si consideramos también que éste se puede reciclar en el caso de usarse en la generación de electricidad. En otras palabras, si bien el hidrógeno es más oneroso que el carbón, combustóleo y gas natural —combustibles utilizados en las centrales de potencia—, la cantidad requerida de hidrógeno es mucho menor para generar la misma cantidad de electricidad, con la ventaja adicional de que puede ser reciclado. El papel de combustible que el hidrógeno puede jugar en el transcurso del siglo XXI hace necesario que los procesos de energías renovables empiecen a buscar las economías de escala.

Uno de los principales objetivos del trabajo fue plantear una propuesta de un Centro Costero de Energía y para poder desarrollarlo es muy importante la selección del lugar para su implementación, considerando este punto, fueron analizados los diversos estados costeros que posee el país.

Para tomar la mejor decisión se necesito conocer y analizar los recursos naturales con que cuenta cada estado del país, y de esta manera conocer la ubicación más adecuada en cuanto a que concentre los mayores beneficios energéticos, es decir que cuente con un alto índice de radiación solar necesaria para la generación de energía solar, velocidad de vientos por encima de los 5 m/s que es la velocidad mínima requerida para la generación de energía eólica, diferencias de temperatura del agua de mar de por lo menos 20 °C necesarios para el funcionamiento de una central energética océano-termal (OTEC), concentraciones salinas importantes y contar con infraestructura energética para su uso y de esta manera generar la mayor cantidad de energía eléctrica posible.

Una vez que se analizaron los datos pertinentes fue seleccionado el estado de Oaxaca exactamente en Salina Cruz debido a que las condiciones que presenta son las más favorables para este caso ya que cuenta con velocidades del viento mayores a los 10 m/s, niveles de radiación solar máximos de 6.6 kWh/m<sup>2</sup>-Día, temperaturas del mar de 30 °C aproximadamente y cantidades de 30-32 gramos de sal por kilogramo de agua de mar.

En este caso se planteo la generación de 10 GW de energía eléctrica mediante el uso diferentes fuentes de energías renovables de manera que todos los recursos naturales (mares, viento, sol) sean aprovechados y de esta manera también se lograra evitar el seguir contaminando el ambiente.

Las centrales contempladas para el Centro Costero de Energía contarán con diferentes capacidades, dichas instalaciones son: eólicas 3.0983 GW, fotovoltaicas 2.4 GW, OTEC  $1 \cdot 10^{-3}$  GW, osmóticas  $1 \cdot 10^{-3}$  GW, híbridas eólico-solar 3.4 GW, además de instalaciones que aprovechen la energía de las olas y las mareas 1.1 GW.

Se espera contar también con una central de electrólisis para obtener  $H_2$  y  $O_2$  y así poder tener almacenada energía en caso de alguna falla, de igual modo estos productos se podrán utilizar en diferentes procesos y sumados a todos los subproductos de las diferentes centrales de energía podrán incrementar el desarrollo del estado ya sea debido a la instalación de nuevas industrias que requieran de dichos componentes o también podrían exportarlos a el lugar donde sean necesarios.

De esta manera tenemos que el aprovechamiento del hidrógeno y las energías renovables responden a una visión de futuro donde este gas, generado de forma limpia y económica, serviría para alimentar el grueso de las necesidades energéticas de la sociedad. Esta propuesta reduciría la dependencia actual sobre los combustibles fósiles, ya que el hidrógeno podría ser generado a partir de otras fuentes primarias como las renovables. Igualmente se disminuiría la contaminación atmosférica y la emisión de gases de efecto invernadero, puesto que el único residuo generado por una pila de combustible es agua.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Chávez, G. (1985). "Elementos de oceanografía". México: Continental.
- De la Lanza, E. (1991). "Oceanografía de mares mexicanos". (1ª Ed.). México: A.G.T.
- Madrid, A. "ENERGÍAS RENOVABLES (Fundamentos, tecnologías y aplicaciones)". (1ª Ed.). España: AMV.
- Pickard, G. (1964). "Descriptive Physical Oceanography". Oxford: Pergamum Press.
- Riley, J. (1989). "Introducción a la química marina". (1ª Ed.). México: A.G.T.
- Romero, Y. "Introducción a la ingeniería de las centrales térmicas de energías oceánicas para la producción de hidrógeno, agua potable y salmueras". México, D.F: Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Adler, L. (2003). La era del hidrogeno. *Ciencias* 70, 47-49.
- Alcaraz, R. (1983). Relación tecnológica-energética y sus repercusiones ambientales, *Ciencias*, 48-52.
- Botas, J. A., Calles, J. y Dufour, G. La economía del hidrogeno - una visión global sobre la revolución energética del siglo XXI (1. Producción y almacenamiento de hidrógeno), *ESCET*, 1-12.
- Botas, J. A., Calles, J. y Dufour, G. La economía del hidrogeno-2 Aplicaciones convencionales del hidrógeno y pilas de combustible, *ESCET*, 1-17.
- Elliott, D., Haymes, S., Heimiller, D., Schwartz, M. y Scott, G. (2003). Wind Energy Resource, Atlas of Oaxaca, *National Renewable Energy Laboratory*, 35-42, 45-50.
- Espino, G. (2004). Gran escenario de la zona costera y oceánica de México, *Ciencias*, 76, 4-13.
- Espinosa, H. (2004). El Pacífico mexicano, *Ciencias* 76, 14-21.
- Fernández, A. y Romero, R. El atlas climático digital de México, *¿Cómo vez?*, 22-24.
- García, A. (2005). La economía del hidrogeno, ¿Por qué y para qué?, *Seminario sobre Ciencia y Tecnología para la Economía del Hidrogeno*, 1-19.
- J.O'M. Bockris y Tiner. (1972). Chem. & Engng. News.
- Lizano, O. Propiedades del agua de mar, *Tópicos de oceanografía física*, 4-8.
- Morillón, D., Saldaña, R., Castañeda, I. y Miranda, U. (2002). Atlas bioclimático de la Republica Mexicana, *ASADES*, 57-62.

Odón, R. (2007). Las implicaciones energéticas del consumo del agua potable: algunas estimaciones, 1-4.

Odón, R. (2011). Las once plantas eléctricas que nadie ha inaugurado, 1-4.

Padilla, L., Juárez, M. y Propin, E. (1997). El proceso de urbanización en las costas mexicanas entre 1980 y 1990: dimensión regional y expresión local, *Revista del Colegio Mexicano de Geografía A.C., México*, 21-36.

Rivas, C., Rodríguez, A. (2009). El agua en la Ciudad de México, *Ciencias 94*, 16-23.

Sánchez, R. (2007). Central de 1gw de potencia basada en el ciclo químico-físico del agua, *Revista del IMIQ*, 15-18.

Sánchez, R. y Chan K. (1998). Las fuentes de las energías renovables, *Educación Química*, 190-195.

Sánchez, R. (2005). Diagramas de procesos para la transformación de las energías renovables, *Revista del IMIQ*, 19-25.

Sánchez, R. y Silva, C. (2009). Combustible hidrógeno para el ciclo Rankin, *Educación Química para un Futuro Sostenible*, 176-181.

Sánchez, R., Silva, C., Mendoza, B. y Gózales, H. (2012). Hidrogeno del mar, *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 49-61.

## **BIBLIOGRAFÍA DIGITAL**

Información de la OTEC. Recuperado en el 2012, de <http://www.nrel.gov/otec/>

Estado de Oaxaca. Recuperado en el 2012, de <http://www.oaxaca-mio.com/>

Puertos mexicanos. Recuperado en el 2012, de

<http://www.portbooker.com/es/puertos/mexico/estado-de-oaxaca>

Temperatura de México. Recuperado en el 2012, de

[http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12:temperatura-y-precipitacion&catid=6:slider&Itemid=65](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12:temperatura-y-precipitacion&catid=6:slider&Itemid=65)

Recuperado en el 2012, de <http://www.statkraft.com>

Asociación danesa de la industria eólica. Recuperado en el 2012, de

<http://www.windpower.org/en/tour/design/horver.htm>

Imágenes satelitales

Recuperadas en el 2012, de

[http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=77:temperatura-del-mar-y-pronostico-de-oleaje-1500](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=77:temperatura-del-mar-y-pronostico-de-oleaje-1500)

<http://www.waveenergyfyn.dk>

## Información del consumo de energía

Recuperado en el 2012, de

[http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/ee/Generacion Bruta de Energia Electrica.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/ee/Generacion_Bruta_de_Energia_Electrica.pdf)

<http://www.sener.gob.mx/portal/Mobil.aspx?id=1430>

<http://www.afinidadelectrica.com/articuloscat.php?cat=energias>

Direcciones electrónicas nacionales de interés:

Recuperado en el 2012, de

Secretaría de Energía.

<http://www.energia.gob.mx>

Comisión Federal de Electricidad.

<http://www.cfe.gob.mx>

Petróleos Mexicanos.

<http://www.pemex.gob.mx>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

<http://www.inegi.gob.mx>

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad

<http://www.conabio.gob.mx>

Exportadora de sal S.A de C.V

<http://www.essa.com.mx>

Energía de las mareas.

Recuperado en el 2012, de

[http://www.hydropower.id.doe.go/hydrokinetic wave/pdfs/day1/06 turbine.pdf](http://www.hydropower.id.doe.go/hydrokinetic_wave/pdfs/day1/06_turbine.pdf) conductos

<http://www.dti.gov.uk>

Mapas de Oleaje mexicano

Recuperados en el 2012, de

<http://www.lofotenbilder.no>

[http://www.indura.com.mx/ file/file\\_1581\\_manual%20de%20gases.pdf](http://www.indura.com.mx/file/file_1581_manual%20de%20gases.pdf)

<http://www.surf-forecast.com>

<http://www.es.surf-forecast.com/mapas/Mexico/>

# ANEXOS

## ANEXO 1. GENERACIÓN ACTUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO.

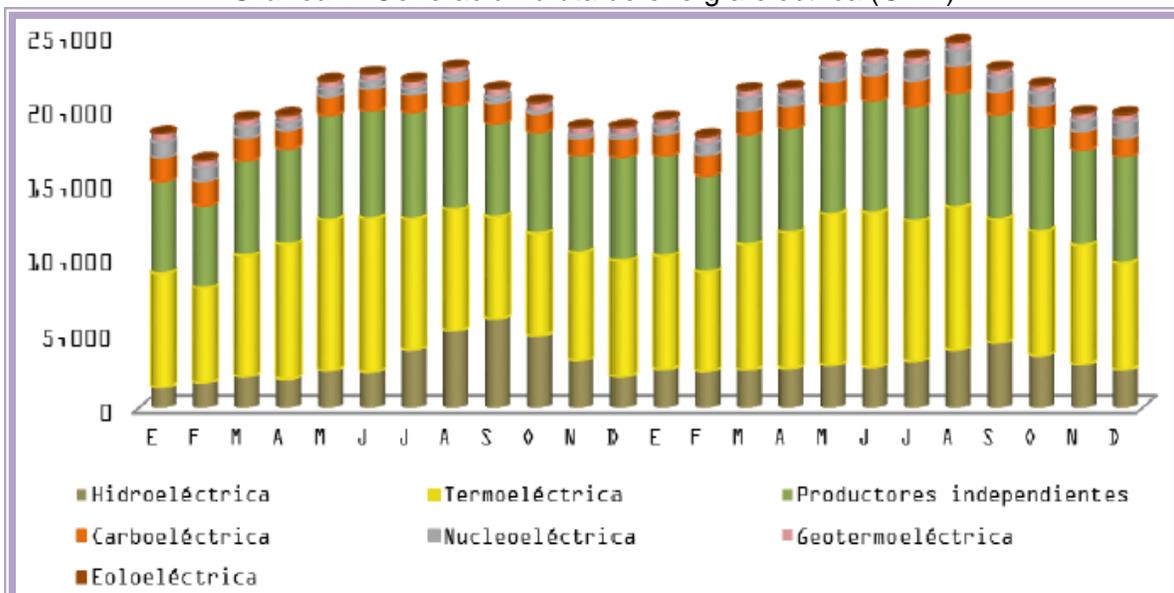
La energía eléctrica se ha convertido en parte de nuestra vida diaria, y está íntimamente relacionada con los requerimientos actuales del hombre; sin ella, difícilmente podríamos imaginarnos los niveles de progreso que el mundo ha alcanzado.

La electricidad se produce a partir de varias fuentes de energía primaria. Los procesos de producción pueden utilizar, por ejemplo, carbón (carboeléctricas), gas natural o combustóleo (termoeléctricas convencionales), energía hidráulica (hidroeléctricas), energía eólica (centrales eólicas), energía nuclear (nucleoeléctricas) y energía geotérmica (geotermoeléctricas). Sin embargo, es importante tener presente que la energía eléctrica que utilizamos está sujeta a distintos procesos de generación, transmisión y distribución y, por lo tanto, al generar electricidad el impacto potencial en el ambiente puede ser muy diferente si se utilizan combustibles fósiles, en contraposición con fuentes de energía renovable (solar, eólica) o energía nuclear.

En mayo del 2012 se generaron 23,890 GWh de energía eléctrica para el servicio público, lo que significó un aumento de 2.5% con respecto a mayo del año anterior. Las termoeléctricas generaron 6,235 GWh, de los cuales 3,141 GWh fueron generados por CFE y 6,580 GWh de los productores independientes (PIE's), los cuales participaron en la generación bruta de electricidad con el 27.6% del total en mayo del 2012, cifra 3% menor a la que se observó en mayo del 2011.

Por su parte, las hidroeléctricas aportaron 13.5%, las carboeléctricas 6.4%, la central nuclear de Laguna Verde 4.8%, las centrales eólicas menos del 0.1%. La generación eléctrica presentó un aumento del 13.8% respecto a mayo del 2011. El aumento en la generación nuclear fue del 28.36% respecto a mayo de 2011.

**Gráfica 1. Generación bruta de energía eléctrica (GWh)**



Fuente: Sistema de información de energía (SIE), con información de la Comisión Federal de Energía CFE

En la siguiente tabla se muestra de manera detallada, la generación bruta de energía eléctrica producida, desde el año 1999 hasta el mes de Junio del 2012.

**TABLA 1. SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL  
GENERACIÓN BRUTA <sup>1/</sup>  
(Gigawatts-hora)**

Año	Hidro eléctrica	Termo eléctrica <sup>3/</sup>	Ciclo Combinado		Duales <sup>4/</sup>	Carbo eléctrica	Nucleo eléctrica	Geotermo eléctrica	Bioléctrica		Foto voltaica	Total
			CPE	PEE's <sup>3/</sup>					CPE	PEE's <sup>3/</sup>		
1999	32,712	87,562	15,526	n.a.	11,234	18,251	10,002	5,623	6	0	180,916	
2000	33,075	95,539	16,417	1,295	13,569	18,696	8,221	5,901	8	0	192,721	
2001	28,435	96,317	20,789	4,590	14,109	18,567	8,726	5,567	7	0	197,106	
2002	24,862	86,273	22,193	21,852	13,879	16,152	9,747	5,398	7	0	200,362	
2003	19,753	81,427	22,437	31,645	13,859	16,681	10,502	6,282	5	0	202,590	
2004	25,076	69,715	24,797	45,855	7,915	17,883	9,194	6,577	6	0	207,019	
2005	27,611	67,215	26,011	45,559	14,275	18,380	10,805	7,299	5	0	217,160	
2006	30,305	54,312	30,120	59,428	13,875	17,931	10,866	6,685	45	0	223,568	
2007	27,042	53,287	30,067	70,982	13,375	18,101	10,421	7,404	248	0	230,927	
2008	38,892	47,362	31,824	74,232	6,883	17,789	9,604	7,056	255	0	234,096	
2009	26,445	48,322	35,533	76,496	12,299	16,886	10,501	6,740	249	0	233,472	
2010	36,738	45,208	36,376	78,457	15,578	16,485	8,879	6,618	166	0	241,506	
2011	35,796	53,128	34,449	84,006	15,396	18,158	10,089	6,507	106	252	257,884	
Enero	2,540	3,105	2,755	6,647	1,748	1,421	509	572	11	0	19,308	
Febrero	2,413	3,103	2,320	6,383	1,249	1,384	733	510	8	0	18,101	
Marzo	2,526	4,137	2,839	7,284	1,417	1,600	856	540	12	0	21,210	
Abril	2,625	4,890	2,766	6,904	1,445	1,483	715	505	6	0	21,339	
Mayo	2,822	5,714	2,975	7,229	1,453	1,570	886	575	5	0	23,229	
Junio	2,704	5,936	2,960	7,426	1,448	1,715	718	561	6	0	23,477	
Julio	3,102	4,861	3,341	7,591	1,196	1,734	1,015	571	8	0	23,420	
Agosto	3,855	5,276	3,230	7,588	1,057	1,788	1,043	565	4	1	24,405	
Septiembre	4,329	4,504	2,889	6,953	889	1,518	997	533	6	4	22,622	
Octubre	3,466	4,582	2,658	6,838	1,099	1,445	883	534	14	20	21,539	
Noviembre	2,880	3,968	2,750	6,237	1,269	1,271	683	515	12	72	19,658	
Diciembre	2,535	3,048	2,967	6,922	1,128	1,231	1,051	527	12	154	19,576	
<b>2012</b>	<b>15,977</b>	<b>29,359</b>	<b>17,776</b>	<b>40,072</b>	<b>7,587</b>	<b>8,736</b>	<b>6,025</b>	<b>2,954</b>	<b>58</b>	<b>593</b>	<b>129,137</b>	
Enero	2,427	3,891	3,013	6,780	1,100	1,255	726	536	11	126	19,865	
Febrero	2,308	3,423	2,909	6,459	1,071	1,326	786	490	14	140	18,925	
Marzo	2,534	4,608	2,953	6,845	1,304	1,388	1,176	496	13	132	21,448	
Abril	2,653	5,182	2,433	6,314	1,339	1,525	1,143	462	10	94	21,155	
Mayo	3,212	6,235	3,141	6,580	1,403	1,533	1,138	480	7	80	23,809	
Junio	2,843	6,019	3,327	7,094	1,370	1,709	1,056	491	4	23	23,935	
Julio												
Agosto												
Septiembre												
Octubre												
Noviembre												
Diciembre												

1\_/ No incluye cogeneración ni autoabastecimiento de energía eléctrica.

2\_/ Incluye Ciclo de Vapor, Turbo gas y Combustión Interna.

3\_/ Comprende la energía neta entregada a la red por los Productores Externos de Energía (PEE's)

4\_/ Las centrales duales pueden operar con carbón o combustóleo

n.a. - no aplica

Fuente: Secretaría de Energía con datos de Comisión Federal de Electricidad y Luz y Fuerza del Centro / Área Central

A continuación se muestra la tabla 2, en la que se pueden observar que los principales usuarios de la energía es el sector domestico el cual aumenta cada vez más, aunque es sector comercial también cuenta con un gran número de consumidores, estos solo representan menos del 50% en comparación al sector domestico, además el sector que posee menos consumidores (lo que no quiere decir que sea el sector que menos energía demande) es la Industria del país.

**TABLA 2. SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL <sup>1\_/</sup>  
USUARIOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA <sup>2\_/</sup>  
(Miles de Usuarios)**

Años	Doméstico	Comercial	Servicios	Agrícola	Empresa Mediana	Gran Industria	Total
1999	20,236	2,367	116	92	106	0.5	22,917
2000	21,055	2,492	123	94	117	0.5	23,881
2001	21,872	2,622	131	97	128	0.6	24,851
2002	22,784	2,751	139	99	139	0.6	25,912
2003	23,692	2,864	145	102	151	0.6	26,954
2004	24,615	2,966	152	105	165	0.6	28,003
2005	25,484	3,056	158	107	180	0.7	28,986
2006	26,348	3,121	164	110	196	0.7	29,940
2007	27,476	3,250	162	113	212	0.7	31,213
2008	28,591	3,353	168	115	225	0.7	32,451
2009	29,455	3,420	174	117	236	0.8	33,403
2010	30,372	3,476	180	119	244	0.8	34,393
2011	31,289	3,544	186	121	257	0.9	35,397
Enero	30,466	3,476	180	120	245	0.8	34,488
Febrero	30,548	3,481	181	120	246	0.8	34,576
Marzo	30,649	3,493	181	120	247	0.8	34,692
Abril	30,720	3,498	181	121	248	0.8	34,769
Mayo	30,801	3,503	182	121	249	0.8	34,857
Junio	30,870	3,504	183	121	250	0.8	34,929
Julio	30,954	3,510	183	121	251	0.8	35,020
Agosto	31,033	3,514	184	121	253	0.8	35,105
Septiembre	31,084	3,520	184	121	254	0.8	35,163
Octubre	31,161	3,529	185	121	255	0.9	35,253
Noviembre	31,227	3,537	185	121	256	0.9	35,327
Diciembre	31,289	3,544	186	121	257	0.9	35,397
<b>2012</b>							
Enero	31,357	3,547	186	122	258	0.9	35,470
Febrero	31,423	3,554	186	122	259	0.9	35,545
Marzo	31,501	3,565	186	123	260	0.9	35,635
Abril	31,577	3,570	187	123	261	0.9	35,719
Mayo	31,654	3,580	187	123	262	0.9	35,807
Junio	31,734	3,585	187	123	263	0.9	35,894
Julio							
Agosto							
Septiembre							
Octubre							
Noviembre							
Diciembre							

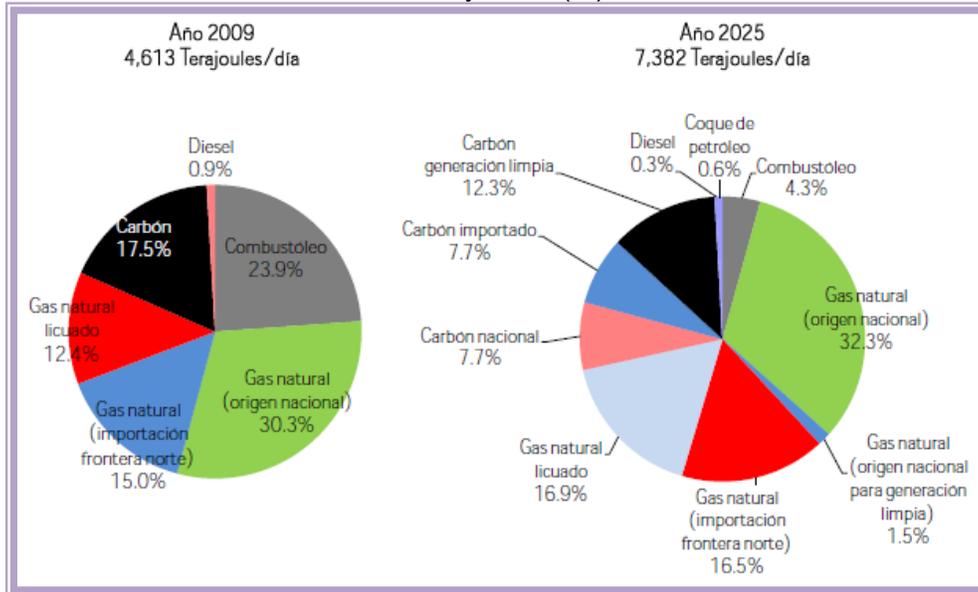
1\_/ Comisión Federal de Electricidad y Luz y Fuerza del Centro / Área Central

2\_/ Al final de cada periodo

Fuente: Secretaría de Energía con datos de Comisión Federal de Electricidad

En el caso de los combustibles fósiles si se contempla una vista a lo largo del horizonte de planeación, la proyección del uso de combustibles fósiles en el parque de generación indica una importante disminución en los volúmenes del combustible requerido, esto es, una baja de - 7.5% en promedio anual. Por el contrario, el carbón y el gas natural registrarán los mayores incrementos promedio anuales con 6.0% y 4.1%, respectivamente. Estas tendencias estarán impulsadas por los cambios que se experimentarán en la generación termoeléctrica al recurrir cada vez menos a centrales convencionales que usan combustible y orientar la generación de electricidad hacia procesos más eficientes y con menor impacto ambiental.

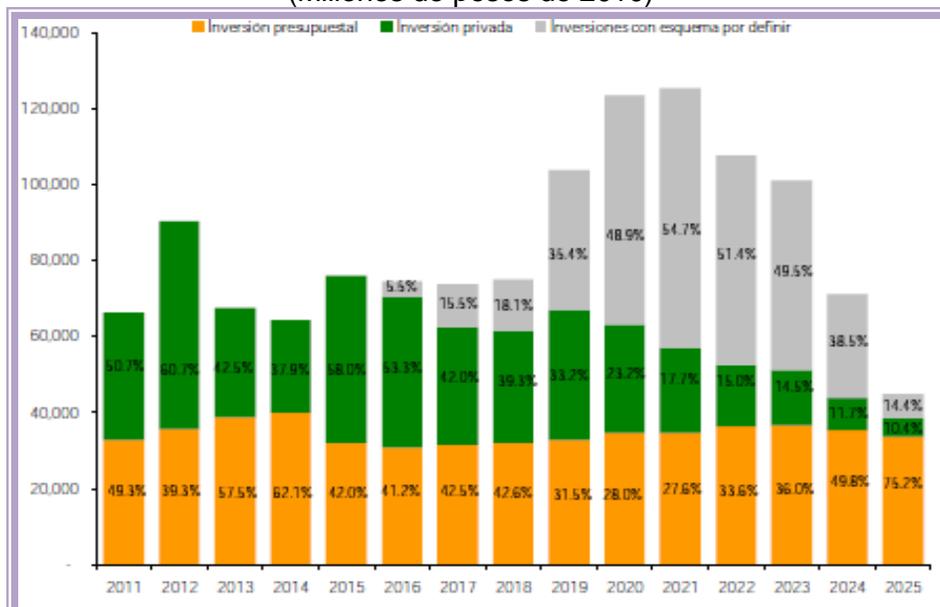
**Gráfica 2.** Participación por combustible fósil en la canasta para generación de energía eléctrica, 2009 y 2025 (%)



Nota: Para el año 2009 las cifras son reales.  
Fuente: CFE.

En materia de inversión se espera que aumente la participación del gobierno para el año 2025, ya que como se muestra en la grafica 3 en estos últimos años la inversión privada es la que ha ido en aumento aportando más de la mitad de los fondos requeridos para el sector eléctrico nacional. Las proyecciones realizadas suponen que a partir del año 2018 vaya en decremento la inversión privada.

**Gráfica 3.** Requerimientos de inversión en el sector eléctrico nacional, 2011-2025 (Millones de pesos de 2010)<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Costos instantáneos de las obras (se excluyen los costos financieros) a precios constantes, considerando un tipo de cambio de 12.9 pesos/dólar.  
Fuente: Comisión Federal de Electricidad

Enseguida se muestran los principales proyectos (de los cuales algunos aun se encuentran en proceso de construcción) de generación de energía que tiene contemplado el país para los siguientes dos años. Entre estos proyectos se encuentran algunos de energías renovables que resultan muy interesantes y además pueden ser sumamente benéficos para el país, no solo por la disminución de contaminación que esto significa, sino además esta podría ser una oportunidad para que México realice innovaciones y no solo implemente las tecnologías existentes para la implementación de energías verdes.

**TABLA 4. PROYECTOS DE GENERACIÓN EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN**

Modalidad / Proyecto	Ubicación	Tecnología	Capacidad Esperada (MW)			
			Total	2012 *	2013 *	2014 *
<b>Productores Externos de Energía</b>			<b>638</b>	<b>205</b>	<b>433</b>	<b>0</b>
CE La Venta III	Oaxaca	Eólica	103	103		
CE Oaxaca I	Oaxaca	Eólica	102	102		
CCC Norte II	Chihuahua	Ciclo Combinado	433		433	
<b>Obra Pública Financiada</b>			<b>3,719</b>	<b>2,267</b>	<b>1,452</b>	<b>0</b>
CG Los Humeros II (fase A y B)	Puebla	Geotérmica	50	50		
CCI Guerrero Negro III	Baja California Sur	Combustión Interna	11	11		
CH La Yesca	Nayarit	Hidroeléctrica	750	750		
CC Repotenciación CT Manzanillo I U-1 y 2	Colima	Ciclo Combinado	1,413	1,413		
CCI Baja California Sur III	Baja California Sur	Combustión Interna	42	42		
CCI Baja California Sur IV	Baja California Sur	Combustión Interna	42		42	
CC Agua Prieta II (con campo solar) (1a. fase)	Sonora	Ciclo Combinado	394		394	
CCC Cogeneración Salamanca (1a. fase)	Guanajuato	Ciclo Combinado	373		373	
CC Centro	Morelos	Ciclo Combinado	642		642	
<b>Total</b>			<b>4,356</b>	<b>2,472</b>	<b>1,885</b>	<b>0</b>

\* Capacidad contratada

Fuente: Comisión Federal de Electricidad

## ANEXO 2. MEMORIA DE CÁLCULO.

En este anexo se describirán los datos que fueron tomados en cuenta para el diseño de cada planta del Centro Costero de Energía.

### 2.1 Energía eólica

En la actualidad se tienen reportados cinco parques eólicos que actualmente se encuentran en funcionamiento en el estado de Oaxaca. Estos parques y sus respectivas capacidades son:

**Tabla 5.** Parques eólicos de Oaxaca.

Parques eólicos	Núm. de equipos	Capacidad por equipo	Energía producida (MW)
La Venta I	7	225	1.575
La Venta II	98	850	83.3
La Venta III	78	1300	101.4
Oaxaca I	78	1300	101.4
Oaxaca II, III, IV	234	1300	303.2
<b>Total</b>	<b>495</b>		<b>591.875</b>

Para el presente trabajo se considera que el Centro costero de Energía genere 3.0983 GW de energía eólica, tomando en cuenta que el estado de Oaxaca son producidos 0.5918 GW (591.875 MW) de energía, entonces se diseñara una instalación que suministre los 2.5065 GW restantes que se requieren.

Los aerogeneradores seleccionados para las instalaciones de generación de energía eólica cuentan con una eficiencia del 60% y sus principales característica son:

- ✓ Capacidad del generador: 1500 kW, torre de 50m de altura y 63 m de diámetro de pala
- ✓ La torre tiene unos 3.6m en la base de diámetro y 2m en la parte más alta (unas 32 toneladas).
- ✓ La barquilla (conjunto situado en la parte superior de la torre) tiene 5m de largo y pesa 18 toneladas.
- ✓ El conjunto de rotor y aspas pesa unas 8 toneladas.
- ✓ Peso total es de entre 55 y 62 toneladas.

Fueron seleccionados dichos aerogeneradores debido a que presentan una capacidad mayor a los equipos actuales además de ser los que actualmente se encuentran en funcionamiento, si bien es cierto existen equipos con mayor capacidad, pero estos aun están en etapa de investigación y todavía no se sabe si serán viables en el futuro. Por lo que las instalaciones contarán con:

Parques eólicos	Núm. de equipos	Capacidad por equipo	Energía producida (GW)
1	2785	1500	2.5065

Para este nuevo parque eólico se considera un arreglo de 40 filas de aerogeneradores con un espacio entre cada fila de dos diámetros de rotor, las cuales estarán integradas por 68 aerogeneradores, cuyo espaciamiento entre ellos será igual al espacio entre cada fila, solo se contara con una fila de 65. Lo que nos dará un área total de 44.27 Km<sup>2</sup> de parque.

Tomando en cuenta la producción de los parques instalados en la actualidad además de la que será generada con la instalación del nuevo parque tenemos que la energía eólica total producida en Salina Cruz Oaxaca es de:

$$0.5918 \text{ GW} + 2.5065 \text{ GW} = 3.0983 \text{ GW}$$

## 2.2 Energía solar

En cuanto a la energía solar se plantea que genere aproximadamente 2.4 GW de energía eléctrica, todo esto considerando que la irradiación solar máxima en Salina Cruz, Oaxaca es de: 6.6 kWh/m<sup>2</sup>-Día. Además se contemplo una eficiencia del 12-25% de los paneles fotovoltaicos que es con la que actualmente cuentan.

Para el desarrollo de este trabajo se decidió tomar en cuenta la mayor eficiencia que presentan los paneles, además se consideran 8 horas aproximadamente de irradiación diaria.

$$6.6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} * (0.25) * \left(\frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}}\right) = 0.20625 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2} * \left(\frac{1 \text{ MW}}{1000 \text{ KW}}\right) * \left(\frac{1 \text{ GW}}{1000 \text{ MW}}\right) * \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}\right)^2 = 0.20625 \frac{\text{GW}}{\text{km}^2}$$

1 km<sup>2</sup> de paneles fotovoltaicos generan —————> 0.20625 GW de energía, por lo tanto:  
11.64 km<sup>2</sup> de paneles fotovoltaicos generan —————> 2.4 GW de energía

De esta manera sabemos que será necesario instalar 11.64 km<sup>2</sup> de paneles fotovoltaicos en el Centro Contero de Energía.

## 2.3 Energía osmótica

En cuanto a la energía osmótica se espera que genere 0.1 GW de energía, para lo cual consideraremos los siguientes datos:

Esta planta utiliza 10 litros de agua dulce y 20 litros de agua salada por segundo. Tiene una potencia de salida de 10 kW aproximadamente. Con una eficiencia de membrana de  $5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  se logra una producción de 25 MW y se requieren 5 km<sup>2</sup> de área de membrana (Statkraft, 2012), por lo que para generar  $1 \cdot 10^{-3}$  GW se tiene que:

0.025 GW —————> requeriría 5 km<sup>2</sup> de área de membrana  
 $1 \cdot 10^{-3}$  GW —————> requeriría 0.2 km<sup>2</sup> de área de membrana  
 $1 \cdot 10^{-3}$  GW —————> requiere  $1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  de H<sub>2</sub>O dulce y  $2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  de H<sub>2</sub>O mar.

Si consideramos que el 70% del agua dulce pasa a través de la membrana, el agua de mar aumenta a  $2.7 \text{ m}^3$  y al dividirse el caudal por la mitad entonces obtenemos  $1.35 \text{ m}^3$  de agua la cual será concentrada en un evaporador solar para obtener algunas sales como:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$  y  $\text{CaSO}_4$ .

Tomando en cuenta la densidad del agua de mar ( $1024 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) y considerando que la eficiencia de la evaporación solar es de 47.8%, se tiene que la planta contara con 1.3824 Ton de  $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$  y se obtendrán:

1 Ton de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	25.96	kg NaCl
1.3824 Ton de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	17.04	kg NaCl

El mismo cálculo se puede hacer para obtener la cantidad del  $\text{MgCl}_2$  y  $\text{CaSO}_4$ . Entonces se tiene que:

1 Ton de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	0.124	kg $\text{MgCl}_2$
1.3824 Ton de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	0.08	kg $\text{MgCl}_2$
1 Ton de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	1.267	kg $\text{CaSO}_4$
138.24 Ton de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	0.83	kg $\text{CaSO}_4$

De acuerdo con esto se concluye que anualmente se obtienen  $18 \cdot 10^4$  ton de  $\text{NaCl}$ , 855 ton de  $\text{MgCl}_2$  y 8746 ton de  $\text{CaSO}_4$ . En este trabajo para obtener un mayor beneficio se plantea la recuperación de parte del agua que se obtiene de la purga de la planta, además del agua que es evaporada durante el proceso de producción de sales, para cuantificar la cantidad obtenida como subproducto de la planta productora de sal se toman en cuenta los siguientes datos, contemplando la cantidad de salmuera y la densidad del agua de mar, se tiene que:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

1 kg de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	$9.766 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
1 kg de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	$2.955 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ salmuera

Por lo tanto:

1 kg de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	$9.4705 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ $\text{H}_2\text{O}_{\text{dulce}}$	
1382.4 kg de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	$0.626 \text{ m}^3$ $\text{H}_2\text{O}_{\text{dulce}}$	(47.8% de eficiencia)

De esta manera se obtienen  $0.626 \text{ m}^3$  de  $\text{H}_2\text{O}_{\text{dulce}}$  producto de la evaporación solar y  $0.3 \text{ m}^3$  de  $\text{H}_2\text{O}_{\text{dulce}}$ , restantes de la central osmótica, así anualmente se tendrán  $338 \text{ m}^3$   $\text{H}_2\text{O}_{\text{dulce}}$ , la cual podrá ser tratada para su posterior aprovechamiento.

## 2.4 Central de energía océano-termal (OTEC)

La energía que se estima que produzca mediante la operación de la central OTEC es  $1 \cdot 10^{-3}$  GW, esta funciona con agua de mar, además esta presenta una gran ventaja ya que genera agua, la cual posteriormente podrá ser utilizada. Para la producción de 0.1 GW se requieren de  $3.7 \cdot 10^7 \frac{m^3}{día}$  y se obtienen  $215\ 000 \frac{m^3}{día}$  (Romero, 2012).

Por lo tanto para  $1 \cdot 10^{-3}$  GW de energía se:

Requieren  $\longrightarrow$   $4.3812 \frac{m^3}{s}$  de  $H_2O_{mar}$

Producen  $\longrightarrow$   $0.025 \frac{m^3}{s}$  de  $H_2O_{dulce}$

## 2.5 Energía mediante sistemas híbridos eólicos-solares

Este sistema de generación de energía contara con paneles fotovoltaicos además de aerogeneradores y esta instalación estará ubicada en el mar para así aprovechar los recursos de los mares.

La energía que se espera sea generada mediante este sistema es de 3.4 GW de los cuales se espera que 1.5 GW sea producidos por aerogeneradores y 1.9 por paneles fotovoltaicos.

Los aerogeneradores que se plantea sean instalados en este sistema son de una mayor potencia, debido a que poseen dos conjuntos de aspas en los costados que generaran 750 MW cada uno y las aspas principales que están situadas en lo alto del aerogenerador produce 1500 MW. Estos aerogeneradores también cuentan con una eficiencia del 60 %.

Parques eólicos	Núm. de equipos	Capacidad por equipo (KW)	Energía producida (GW)
1	836	3000	1.5048

En este caso el arreglo de los aerogeneradores estará formada por 22 filas y cada fila contara con 38 aerogeneradores (la separación entre filas y equipos es la misma anteriormente descrita), de modo que se requiere de un área de  $13.28 \text{ km}^2$ .

En cuanto a los paneles fotovoltaicos se harán las mismas consideraciones que en el caso anterior del diseño de paneles fotovoltaicos, lo que únicamente cambiara será el área necesaria para cubrir la energía.

$1 \text{ km}^2$  de paneles fotovoltaicos generan  $\longrightarrow$  0.20625 GW de energía, por lo tanto:  
 $9.22 \text{ km}^2$  de paneles fotovoltaicos generan  $\longrightarrow$  1.9 GW de energía

## 2.6 Producción de sales

De acuerdo con ESSA (Exportadora de Sal S.A de C.V., 1990) al evaporar un kilogramo de agua mar se obtienen 29.55 ml de salmuera y teóricamente se tienen 25.96 g de NaCl, 0.124 g de MgCl<sub>2</sub>, 1.149 g de CaSO<sub>4</sub>. En esta ocasión nos basaremos en la experiencia de algunas productoras de sal, por lo que se tomara una eficiencia de la evaporación solar real del 47.8%.

$$m = \rho * V$$

Suponiendo un flujo de entrada a la planta de  $551 * 10^5 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}_{\text{mar}}$  anual y tomando en cuenta la densidad del agua de mar ( $1024 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ), se tiene que la planta contara con  $564 * 10^5 \text{ Ton}$  de  $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$  y se obtendrán:

1 Ton de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	25.96 kg NaCl	
$564 * 10^5 \text{ Ton}$ de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	695 468 400 kg NaCl	(47.8 % de eficiencia)

El mismo cálculo se puede hacer para el MgCl<sub>2</sub> y CaSO<sub>4</sub> encontrados en la salmuera residual. Entonces se tiene que:

1 Ton de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	0.124 kg MgCl <sub>2</sub>	
$564 * 10^5 \text{ Ton}$ de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	6 993 600 kg MgCl <sub>2</sub>	(47.8 % de eficiencia)

1 Ton de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	1.267 kg CaSO <sub>4</sub>	
$564 * 10^5 \text{ Ton}$ de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	71 458 800 kg CaSO <sub>4</sub>	(47.8 % de eficiencia)

También se plantea la recuperación del agua que se evaporada durante el proceso de concentración de la salmuera, para cuantificar la cantidad de agua que obtenida como subproducto de la planta productora de sal tenemos lo siguiente:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

1 kg de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	$9.766 * 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}_{\text{mar}}$
1 kg de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	$2.955 * 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ salmuera}$

Por lo tanto:

1 kg de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	$9.4705 * 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}_{\text{dulce}}$	
$5.64 * 10^{10} \text{ kg}$ de $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$ tiene	25 531 710 $\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}_{\text{dulce}}$	(47.8 % de eficiencia)

Suponiendo que la planta trabaja 8 h diarias se tiene que; se alimentan  $5.24 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  de  $\text{H}_2\text{O}_{\text{mar}}$  y se obtienen  $2.43 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  de  $\text{H}_2\text{O}_{\text{dulce}}$ .

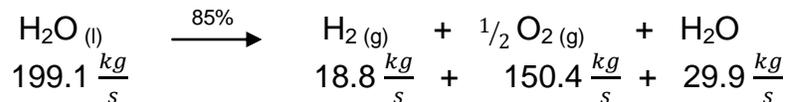
## 2.7 Electrólisis del agua

La planta de electrólisis de agua del Centro Costero de Energía tendrá la capacidad de almacenar la suficiente cantidad de  $H_2$  para producir 2 GW de energía. Para producir 1 GW son necesarios  $18.8 \frac{kg}{s}$  de  $H_2$  (Dirzo, 2007), y en este caso se tomara en cuenta la eficiencia del 85% que es de los equipos de electrólisis más modernos. De acuerdo a lo anterior se tiene que:

$$18.8 \text{ kg } H_2 * \left(\frac{1 \text{ mol } H_2}{2 \text{ kg } H_2}\right) * \left(\frac{1 \text{ mol } H_2O}{1 \text{ mol } H_2}\right) * \left(\frac{18 \text{ kg } H_2O}{1 \text{ mol } H_2O}\right) = 169.2 \text{ kg } H_2O$$

$$169.2 \text{ kg } H_2O * \left(\frac{1 \text{ mol } H_2O}{18 \text{ kg } H_2O}\right) * \left(\frac{0.5 \text{ mol } O_2}{1 \text{ mol } H_2O}\right) * \left(\frac{32 \text{ kg } O_2}{1 \text{ mol } H_2O}\right) = 150.4 \text{ kg } O_2$$

La reacción al ser al 85% nos indica que el 15% restante es  $H_2O$  que no reacciono.



Estas cantidades son las que se necesitan almacenar para producir 1 GW, por lo que serán necesarios:  $399 \frac{kg}{s}$  de agua para cumplir con los 2 GW de energía que se planea tener almacenados.

Debido a que el proceso se lleva a cabo con una eficiencia del 85% esto nos da como resultado la obtención de agua como subproducto y entonces podemos decir que se alimentan  $0.8 \frac{m^3}{s}$  de  $H_2O$  y se tienen  $0.12 \frac{m^3}{s}$  de  $H_2O$  como subproducto, (tomando en cuenta la densidad del agua de  $1000 \frac{kg}{m^3}$ ).

## 2.8 Central mareomotriz

Se considera que esta central genere 0.5 GW de energía, por lo que se necesitaría el implementar una central de 24.2 km, ya que el prototipo TAPCHPAN instalado en una pequeña isla de Noruega, genera 3000 kW el cual cuenta con un canal de 10 metros de alto (7 metros debajo del mar y 3 metros por encima) y 170 metros de longitud.

## 2.9 Dragón de las olas

En este caso se contempla que el dragón sea capaz de suministrar al Centro 0.5 GW de energía. Un modelo a pequeña escala ya ha sido ensayado y se estima tendrá una generación pico de 8 MW, disponiendo con 0.25 km de brazos reflectores, entonces se planea el diseñar un dragón de 15.7 km para así obtener la potencia deseada de 0.5 GW.

## **2.10 Columpio de las olas de Arquímedes (AWS)**

Como en los dos casos anteriores se planea obtener una pequeña cantidad de energía de solo 0.1 GW. Prototipos de este tipo generan 2 MW y han sido instalados en las costas de Portugal, de esta manera resulta necesario el contar con por lo menos 50 AWS para generar así la energía necesaria.

### ANEXO 3. PRODUCCIÓN, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE HIDRÓGENO Y OXÍGENO.

Las preocupaciones sobre el cambio climático global y la degradación medioambiental resultante del uso de los combustibles fósiles como fuente primaria de energía, junto con las inquietudes sobre la seguridad en el suministro energético, han llevado a muchos analistas a proponer al hidrógeno como portador universal de energía para el futuro. El uso del hidrógeno como vector energético permite el desarrollo de un amplio número de tecnologías. En concreto, las pilas de combustible alimentadas con hidrógeno pueden alcanzar eficiencias elevadas y presentan una gran variedad de posibles aplicaciones, tanto móviles como estacionarias. En el caso de que las líneas de desarrollo actuales lleguen a buen término, el hidrógeno y las pilas de combustible podrán contribuir de forma sustancial a alcanzar los objetivos clave de las políticas energéticas (seguridad de suministro, reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>), especialmente en el sector transporte. Los resultados alcanzados en los últimos años en los programas de investigación, desarrollo y demostración han incrementado claramente el interés internacional sobre estas tecnologías, de las que se piensa que tienen el potencial de crear un cambio de paradigma energético, tanto en las aplicaciones de transporte como en las de generación distribuida de potencia.

#### Producción del hidrógeno

El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro, insípido, no presenta toxicidad y es altamente inflamable y reactivo; es el elemento de menor masa atómica y es más liviano que el aire. Un átomo de hidrógeno tiene únicamente un protón y un electrón. Además es el elemento químico más abundante en el universo, con un 90% del universo en peso, y el tercero más abundante en la Tierra.

El hidrógeno puro se presentan en forma de moléculas diatómicas H<sub>2</sub>; sin embargo, en la naturaleza se encuentra principalmente en forma combinada debido a su gran reactividad, formando una gran cantidad de compuestos que incluyen el agua, hidrocarburos, proteínas, ácidos, etc.

**Tabla 6.** Propiedades físicas del hidrógeno.

Propiedades físicas del hidrógeno	
Símbolo químico	H <sub>2</sub>
Peso molecular	2.016
T. Ebullición (1 atm)	-252.8 ° C
T. Crítica	-239.9 ° C
Presión crítica	1 atm
Densidad estado gaseoso (20°C, 1 atm)	0.08342 $\frac{kg}{m^3}$
Densidad en estado liquido (p.e. 1 atm)	70.96 $\frac{kg}{m^3}$
Peso específico (aire = 1)	0.0696

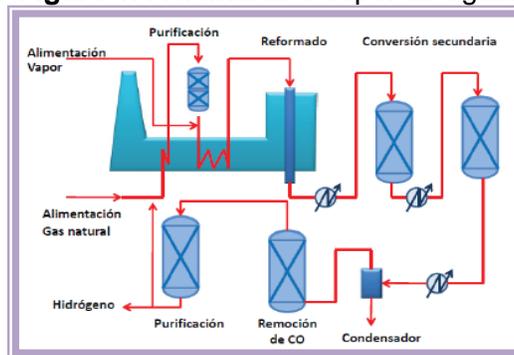
## Métodos

La obtención del hidrógeno puede realizarse de varias formas y todos los procesos utilizados industrialmente son del tipo endotérmicos (requieren energía). Dado que se necesita consumir una considerable cantidad de energía en el proceso de extracción, el hidrógeno debería ser considerado como un transmisor de energía más que como una fuente de energía. Los siguientes son los principales métodos de obtención del hidrógeno.

### Reformado a vapor de agua

Actualmente, el 5% de la producción mundial de hidrógeno se realiza a partir de gas natural y agua mediante un proceso conocido como reformado a vapor de agua. El proceso químico se realiza con la combinación de agua y una base de hidrocarburo, normalmente el gas natural, que está constituido principalmente de metano.

**Figura 1.** Reformado a vapor de agua.



Tal y como se observa en la figura 1, el proceso incluye tres etapas, primero se combina el vapor y el metano a alta presión 3 MPa y temperatura (entre 550 y 900 °C), para producir una mezcla de hidrógeno, dióxido de carbono y otras impurezas, conocida como gas sintético. Seguido a esto, se debe extraer el dióxido de carbono del gas sintético, y por último purificar el hidrógeno obtenido.

### Gasificación

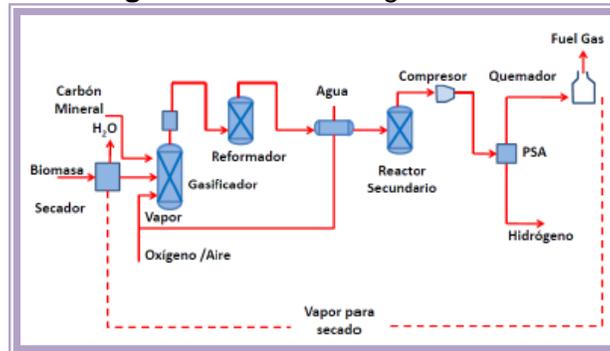
Otras bases de hidrocarburo se pueden transformar con vapor, no obstante, hay sustancias que por sus características, no pueden ser reformadas con vapor debido al daño que provocarían a los catalizadores. El método de gasificación, no requiere el uso de catalizadores, por lo tanto, es posible utilizar una amplia variedad de materia primas que van desde líquidos de alta viscosidad como el fuel oil, hasta sólidos como el carbón mineral y la biomasa. El proceso se puede observar en la figura 2.

La gasificación se lleva a cabo a temperaturas superiores a los 1300 °C para que el carbón mineral o la biomasa reaccionen con el agua y se forme gas sintético:



Al igual que el método de reformado a vapor de agua, se extrae el dióxido de carbono de la mezcla y se eliminan las impurezas. El rendimiento neto de conversión es típicamente de un 63 %.

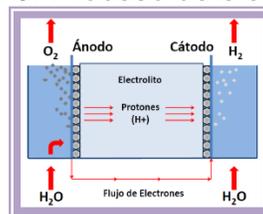
**Figura 2.** Proceso de gasificación



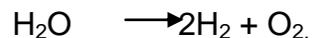
### Electrólisis

El tercer método más utilizado es la electrólisis, proceso mediante el cual se hace pasar una corriente eléctrica entre electrodos inertes sumergidos en agua, y así separar sus moléculas en sus elementos constitutivos: hidrógeno y oxígeno. El proceso se puede observar en la figura 3.

**Figura 3.** Proceso de electrólisis



Dado que el agua es virtualmente un aislante eléctrico, se le agrega un electrolito para hacerla un medio conductor; el hidrógeno se libera en el cátodo y una cantidad equivalente de oxígeno se libera en el ánodo. El líquido mismo y los separadores porosos usados en la celda electrolítica evitan que se mezclen los gases liberados, que pueden recogerse a presiones convenientes:



El rendimiento promedio durante la electrólisis viene siendo de un 65 %, sin embargo, los dispositivos más modernos para la electrólisis pueden alcanzar un rendimiento entre el 80 y el 85 %. En la actualidad, ésta técnica se utiliza solamente en plantas relativamente pequeñas.

### Energía termal

La energía termal es una tecnología que produce hidrógeno convirtiendo energía térmica en energía eléctrica para realizar la separación de las moléculas del agua en hidrógeno y oxígeno. Las altas temperaturas se pueden obtener en plantas nucleares, paneles solares o alguna fuente de energía fósil.

### Electrólisis a alta temperatura

El proceso de la electrólisis a alta temperatura es una variación de la electrólisis convencional. Al proceso de descomposición del agua se le agrega calor para así utilizar menos energía eléctrica, y por ende mejorar la eficiencia del proceso. Sin embargo, desde el punto de vista térmico, el proceso es menos eficiente, es por esto que se aprovecha cuando se tienen excedentes de energía térmica.

### Biofotólisis

La captura de la energía solar basada en fotosíntesis puede realizarse por medio de la biofotólisis, que consiste en la capacidad que algunas algas verdes tienen de poder captar energía luminosa y usarla a través de una cadena de transporte de electrones y unas singulares enzimas (hidrogenasas), para producir hidrógeno por descomposición del agua. La investigación del proceso de biofotólisis ha conocido grandes progresos en la última década, pero falta un largo camino que recorrer para hacer éstas producciones sostenibles y encontrar nuevos organismos.

### **Almacenamiento de hidrógeno**

Debido a su baja densidad, el hidrógeno es un gas difícil de almacenar. El almacenamiento de hidrógeno se divide en dos grupos según si va a ser estacionario o no estacionario. El almacenamiento estacionario, es aquel que se establece en un punto fijo, como por ejemplo en las plantas de producción de hidrógeno o en las plantas de suministro de dicho gas. El almacenamiento no estacionario sería aquel en el cual la distribución o consumo del gas se realiza por carretera, mar o aire. Este último tipo de almacenamiento es el más crítico ya que en el transporte, el espacio que se necesita para mantener el gas licuado ya sea a altas presiones o a temperaturas criogénicas es muy voluminoso y resta espacio útil de carga, lo cual implica unos costes para nada despreciables. Los sistemas de almacenamiento de hidrógeno más comunes y rentables son los siguientes:

- Sistema de almacenamiento de hidrógeno a alta presión:

En este tipo de almacenamiento, el gas se comprime a altas presiones, en un rango que oscila entre los 200 y los 700 bar. Como es de imaginar, los tanques capaces de aguantar dichas presiones son muy costosos, debido a la gruesa pared de contención, la cual añade peso muerto y en caso de sistemas no estacionarios puede no ser la solución más rentable.

Actualmente, el revestimiento interior de los tanques se realiza con un polímero consistente en una malla de polietileno o nylon recubierta con una fibra continua de grafito y reforzada con resina epoxy para dar más estabilidad estructural al conjunto. Con todo ello, se reduce el peso muerto del tanque. Este tipo de tanques, se han usado en la industria naval en el transporte de gas metano a alta presión y temperatura ambiente con gran éxito. El problema, es que el hidrógeno tiene una tasa de permeabilidad mucho más elevada que el metano, y se escapa a través de las paredes de los tanques, reduciendo gradualmente la presión en el interior del tanque y pudiendo debilitar las paredes de contención, provocando así daños estructurales en el tanque.

- Sistema de almacenamiento de hidrógeno líquido a temperatura criogénica:

Este sistema consiste en conseguir bajar la temperatura del hidrógeno en forma gaseosa hasta los 20 K aproximadamente, momento en el cual se produce la condensación del gas a una presión de una atmósfera. La mínima temperatura necesaria para conseguir licuar el hidrógeno es de 33 K, pero se necesita una presión mínima de 13 bar, lo cual puede encarecer el diseño de la instalación.

La contención del producto a estas temperaturas tan extremadamente bajas, se consigue gracias a unos recipientes aislados por vacío, llamados frascos Dewar, o bien mediante tanques de doble capa, los cuales mantienen otro fluido refrigerante a temperatura criogénica en la capa externa como puede ser nitrógeno líquido, para reducir así el intercambio de calor con el exterior. También es posible que para aumentar el rendimiento del almacenamiento, se mezclen las dos capas, encontrando así el hidrógeno líquido en la parte interior del tanque, a continuación, un espacio para un fluido refrigerante a temperatura criogénica para mantener a una temperatura adecuada el hidrógeno, y a continuación, un espacio en el cual se cree el vacío, el cual reduce al mínimo la transmisión de calor por convección y conducción. El tanque, por la parte exterior puede estar aislado con material reflectante, normalmente plástico aluminado Mylar para eliminar así el intercambio de calor por radiación entre el tanque y el medio. Otra alternativa más barata al plástico Mylar es la perlita (silicona coloidal) situada entre las paredes del tanque.

- Mediante hidruros metálicos:

El almacenamiento mediante hidruros se divide en tres tipos: iónico, metálico o covalentes. El principio de funcionamiento es el siguiente. Inicialmente, el metal se encuentra libre de hidrógeno. A continuación, se empieza a inyectar hidrógeno a cierta temperatura y éste se disuelve en la fase metálica, en ese momento aumenta la presión del compuesto. Conforme aumenta la presión, los incrementos de hidrógeno en la mezcla son cada vez menores, hasta que puede considerarse lleno. En la descarga, la presión disminuye, y se debe suministrar calor al hidruro para mantener las condiciones de reversibilidad. Aun así, es posible que se produzca un poco de histéresis.

A continuación se muestra una tabla con los diferentes hidruros y su capacidad de captación de moles de hidrógeno:

**Tabla 7.** Hidruros y su captación

Hidruro	Capacidad de almacenamiento	Calor de formación (Kcal/mol)
FeTiH	0.096	13
LaNiH	0.089	7.4
MgNiH	0.081	6.7

En el almacenamiento de hidrógeno por hidruros metálicos existen diversos problemas. La velocidad de carga y descarga del lecho metálico depende del coeficiente de transmisión del calor, además de la presión y temperatura de almacenamiento. Además, el deterioro del lecho metálico, la fragilidad y la baja densidad de almacenamiento de hidrógeno son puntos clave a tener en cuenta a la hora de elegir este sistema.

Otro importante problema que se presenta en el uso de baterías de hidruro metálico es que las finas partículas del lecho metálico son muy sensibles a las impurezas tales como el oxígeno o el monóxido de carbono. Dichas impurezas disminuyen el rendimiento en el almacenamiento de hidrógeno, debido a que pueden llegar a inactivar las partículas de hidruro metálico.

- Almacenamiento subterráneo de hidrógeno gaseoso:

Sin duda alguna este es un tipo de almacenamiento puntual, que se podrá utilizar dependiendo de la morfología del terreno en donde se quiera almacenar. El almacenamiento es similar al almacenamiento de gas natural en cavidades subterráneas. Este tipo de almacenamiento, permitiría disponer de una gran cantidad de producto almacenada para hacer frente a una situación de gran demanda de hidrógeno.

Para este tipo de almacenamiento, se pueden usar cuevas creadas por el hombre, minas abandonadas, acuíferos vacíos, etc.

También se puede inyectar hidrógeno gaseoso en un suelo de roca porosa. Dicha roca debe tener por la parte superior una capa de cierre impermeable, la cual impida al hidrógeno escapar filtrándose lentamente a la atmósfera.

## **Transporte y distribución de hidrógeno**

- Transporte de hidrógeno gas.

El hidrógeno gas suele ir comprimido en depósitos entre 200-700 bar. Los depósitos convencionales de gas comprimido a 200-350 bar son de acero austenítico. Para presiones superiores, entre 400-700 bar se están desarrollando nuevos materiales compuestos de fibra de carbono y polímeros o bien de aluminio reforzado con fibra de carbono.

Estos depósitos de pueden transportar por carretera en camiones, ferrocarril o barco. Los camiones tipo tráiler para gas comprimido tienen un alto coste variable debido al bajo volumen de hidrógeno que transportan y a la distancia a recorrer. En cambio los gastos fijos son bajos y flexibles. Esto implica que cuando la distancia al lugar de uso final es grande (mayor de 1000 Km.), el hidrógeno se suele licuar y se emplean camiones cisterna criogénicos para su transporte. Así mismo, está establecida comercialmente la tecnología de transporte de hidrógeno por tubería, aunque no se hayan realizado redes de gasoductos para grandes distancias.

- Gaseoductos

Prácticamente todas las compañías de gases industriales operan alguna red de transporte por gasoducto para atender las demandas de sus principales clientes. Air Liquide opera una línea red de transporte de 879 Km. situada en Bélgica, Holanda y Francia. Air Products y Praxair operan líneas de transporte en Estados Unidos con unas longitudes totales de unos 175 y 275 km. respectivamente. Los conductos existentes tienen un diámetro de 25-30 cm. y operan a presiones de 10-20 bar (aunque también se usan presiones de 100 bar). Los costes de inversión son función del diámetro de las tuberías (esto es aplicable tanto en el caso del

hidrógeno como en el de gas natural), pero para transportar hidrógeno, como su densidad energética por unidad de volumen es aproximadamente un cuarto de la del gas natural, se necesita o bien una tubería de mayor diámetro o una mayor presión para suministrar la misma cantidad de energía. A igualdad de capacidad energética de la línea de transporte, el coste total de una línea para hidrógeno es del orden de seis veces el de gas natural.

Aunque en general el hidrógeno no puede transportarse por la red de distribución de gas natural debido a incompatibilidad con los materiales comúnmente utilizados en los conductos (plásticos del tipo del polietileno), sin embargo se están realizando estudios para utilizar algunas partes de la red de gas natural para transportar mezclas de hidrógeno y gas natural.

- Transporte de hidrógeno líquido

Como se ha mencionado, en el proceso de licuación del hidrógeno se consume una gran cantidad de energía primaria que, dependiendo de la técnica seguida, puede situarse entre el 30 y el 40% del contenido energético del hidrógeno líquido. Los costes de la licuación son también muy altos, pero presentan una importante economía de escala, por tanto, a partir de un determinado volumen de producción, puede tomarse la opción de licuar.

No obstante, para su transporte por camión o por barco, a largas distancias, es necesario tener en consideración que las pérdidas por evaporación pueden alcanzar unas cantidades entre el 0,2 y 0,4% del hidrógeno líquido por día. En el caso del transporte marítimo se requerirían barcos rápidos para limitar el impacto de estas pérdidas, aunque el producto evaporado pueda recuperarse y utilizarse para la propulsión del barco.

- Estaciones de servicio

Dentro de la cadena del hidrógeno para aplicaciones de transporte, las estaciones de servicio son uno de sus componentes más importantes. Hasta la fecha se han construido en torno a 100 estaciones de servicio en el Mundo. En general suministran el hidrógeno o bien a presión de 350 bar o licuado, y disponen o bien de sistemas de producción del hidrógeno in situ, fundamentalmente basados en reformado de gas natural o en electrólisis de agua, o bien reciben el hidrógeno desde plantas de producción centralizadas.

Parece lógico pensar que, inicialmente, el crecimiento del número de estaciones de servicio se basará en un sistema de producción distribuido en el entorno de núcleos urbanos que, en etapas sucesivas, se irá interconectando entre sí a la vez que enlazándose con plantas centralizadas conforme el crecimiento de la demanda lo justifique.

## **OXÍGENO**

El Oxígeno es un gas incoloro, inoloro e insípido. El Oxígeno, solo, no es flamable, pero alimenta la combustión. Es altamente oxidante, reacciona violentamente con materias combustibles y puede causar fuego ó explosión. El gas más importante para los seres vivos. Sin él, no sería posible la vida animal ó vegetal. Se encuentra en el aire que respiramos, en menor proporción que el Nitrógeno.

Usado en combinación con gas combustible para:

- Corte y soldadura oxiacetilénica.
- Enderezado con llama.
- Temple por llama.
- Limpieza por llama.
- Enriquecimiento de llamas en formas diversas (mezcla oxicomcombustible).

Acelera la quema de los gases combustibles para la obtención de una concentración mayor de calor.

- **FUEGO:** Alimenta la combustión. Produce llama y/o explosión cuando entra en contacto con aceite o grasa. En caso de incendio, remuévalo a lugar seguro y enfríelo con agua.
- **SALUD:** No es tóxico. Es perjudicial cuando se aspira seco en grandes cantidades.

En la siguiente tabla se mencionan las principales características físicas del oxígeno.

PROPIEDADES FÍSICAS	
Símbolo Químico	O <sub>2</sub>
Peso Molecular	31.988
T. Ebullición (1 atm.)	-182.96 ° C.
T. Crítica	-118,57 ° C.
Presión Crítica	49.76 atm.
Densidad Gas (20 grados C. 1 atm.)	1.326 Kg./m <sup>3</sup>
Densidad líquido (p.e. 1 atm.)	1,141Kg/m <sup>3</sup>
Peso específico (aire=1)	1.105
Otras características	Comburente.

### Obtención del oxígeno.

El aire se compone aproximadamente, de un 21 % de oxígeno, un 78 % de nitrógeno y pequeñas cantidades de gases raros, tales como el helio, el argón y el neón. Para obtener el oxígeno, tal como se utiliza en soldadura, es necesario separarlo del resto de gases que componen el aire.

Desde el punto de vista Industrial, pueden seguirse dos procedimientos para la obtención del oxígeno: la electrólisis del agua y la destilación fraccionada del aire.

Para la obtención por electrólisis, se prepara una solución de sosa cáustica en agua, y se introducen en la misma dos electrodos conectados a un generador de corriente continua. Al circular la corriente eléctrica a través de la solución, se produce la descomposición del agua en sus dos elementos integrantes, recogiéndose el oxígeno, en forma gaseosa, en uno de los electrodos, y el hidrógeno, en el otro. Este procedimiento resulta muy costoso y apenas se

emplea, por lo que el oxígeno para aplicaciones Industriales suele obtenerse por destilación fraccionada del aire.

El aire atmosférico se recoge en grandes depósitos que se conocen como torres de lavado. A través de estas torres se hace circular una solución de sosa cáustica, que somete al aire a un proceso de lavado, eliminando el anhídrido carbónico. A la salida de la torre de lavado el aire se comprime y se hace a través de unas depuradoras en las que se eliminan las partículas de aceite y el vapor de agua.

De aquí el agua pasa a los cilindros de secado. Estos cilindros contienen potasa cáustica, que seca el aire y elimina cualquier residuo de anhídrido carbónico y vapor de agua. En el extremo superior de estos cilindros existen nuevos filtros de un algodón especial, que evitan que cualquier sustancia extraña pueda pasar a las líneas de alta presión.

Una vez seco, limpio y sometido a elevadas presiones, el aire pasa a las columnas de rectificación, en las que se enfría y se expande hasta presiones próximas a la atmosférica. Esta gran expansión del aire previamente enfriado provoca la licuación del mismo.

Partiendo del aire en estado líquido resulta sencillo separar el oxígeno y el nitrógeno, debido a la diferencia de temperaturas de ebullición de ambos gases. El nitrógeno, que tiene una temperatura de ebullición más baja, se evapora primero, dejando un residuo de oxígeno líquido en el fondo del condensador, enseguida el oxígeno líquido pasa a través de un serpentín en el que se calienta hasta pasar al estado gaseoso. El gas producido se controla con un caudalímetro y se almacena en grandes tanques. De aquí se recoge para cargar las botellas tal como se utilizan en la Industria.

A continuación se mencionan brevemente los usos del oxígeno.

#### Uso médico

- El oxígeno es utilizado ampliamente en medicina, en diversos casos de deficiencia respiratoria, resucitación, en anestesia, en creación de atmósferas artificiales, terapia hiperbárica, tratamiento de quemaduras respiratorias, etc.

#### Uso industrial

- El oxígeno gaseoso, por sus propiedades comburentes, es corrientemente usado en procesos de combustión para obtener mayores temperaturas.
- En mezclas con acetileno u otros gases combustibles, es utilizado en soldadura y corte oxigas.
- Por sus propiedades oxidantes, es utilizado en diversas aplicaciones en siderurgia, industria papelera, electrónica y química.
- El oxígeno líquido, LOX, es utilizado principalmente para explosivos y como comburente en propulsión espacial.

#### Principales precauciones en manejo y almacenamiento

- Nunca utilizar oxígeno a presión sin saber manipular correctamente cilindros, reguladores, etc.
- Evitar toda combustión cercana a depósitos o vías de flujo de oxígeno.

- Evitar la presencia de combustibles, especialmente aceites o grasas, en las cercanías de oxígeno (incluso en el suelo o en ropas).
  - El contacto de la piel con oxígeno líquido (o depósitos no aislados) puede causar graves heridas por quemadura, debido a su baja temperatura.
- Debe usarse protección adecuada para manejo de líquidos criogénicos.

### **Materiales para el almacenamiento de oxígeno**

A temperatura y presión normal el oxígeno no es corrosivo y puede ser usado satisfactoriamente con todos los metales comunes, sin embargo debe evitarse el uso de aluminio y sus aleaciones, o de aceros al carbono y de baja aleación, por la combustión exotérmica que puede producirse en presencia de oxígeno puro.

Los aceros al carbono no aleados se convierten en un material frágil a las temperaturas criogénicas del oxígeno líquido.

La humedad hidrata los óxidos metálicos, con lo cual se expanden y pierden su rol protector, por lo que deben eliminarse de cualquiera instalación que va a usarse con oxígeno.

Símbolo

## ANEXO 4. CELDAS DE COMBUSTIBLE

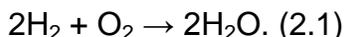
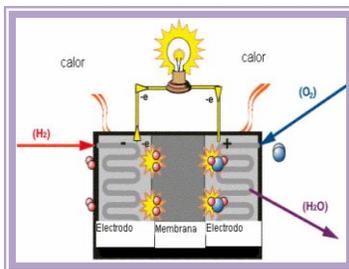
Durante la última década ha surgido un importante interés por la promoción de las llamadas celdas de combustible. Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos que convierte la energía química de una reacción directamente en energía eléctrica (Cano, 1999). La reacción química se lleva a cabo combinando hidrógeno y oxígeno sin ninguna combustión. Una celda de combustible no se agota ni se recarga ya que producirán electricidad y calor en tanto se les provea de combustible.

### Fundamentos de la celda de combustible

Una celda de combustible básica está formada por una capa de electrolito que se encuentra en contacto con un cátodo y un ánodo en cada uno de sus extremos como se muestra en la figura 4.

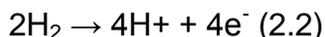
La primera demostración de la operación de una celda de combustible fue realizada por el científico Willian Grove en el año 1839 (Fundación Terra, 2003). El principio fue descubierto accidentalmente, mientras hacía un experimento de electrólisis. Cuando desconectó la batería de la electrólisis observó una corriente que fluía en dirección opuesta y que consumía los gases de hidrógeno y oxígeno a la cual llamó "batería de gas". Esta batería de gas consistía en unos electrodos de platino en un baño de ácido sulfúrico disuelto. Por tanto otra manera de entender a las celdas de combustibles es considerando que en ellas el hidrógeno es quemado en la reacción simple (Larminie y Dicks, 2001):

**Figura 4.** Esquema básico de una celda de combustible.

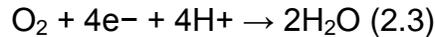


Sin embargo en esta reacción en lugar de liberar energía calorífica, se produce energía eléctrica. Para comprender como la separación del agua en hidrógeno y oxígeno produce una corriente eléctrica es necesario considerar las reacciones que tiene lugar en cada uno de los electrodos de la celda de combustible, esto varía dependiendo del tipo de celda de combustible, por lo que se mostraran las reacciones presentes en las celdas denominadas de electrolito ácido que es del tipo

de la utilizada por Grove. En el ánodo de una celda de combustible de electrolito ácido el hidrógeno ioniza, liberando electrones y creando iones H<sup>+</sup> (protones), así el balance de cargas del hidrógeno es:



La reacción dada por la ecuación 2.2 libera energía, mientras tanto en el cátodo el oxígeno reacciona con los electrones tomados del electrodo y con los iones  $H^+$  del electrolito para formar agua, esto es:



### Tipos de pilas de combustible

Las pilas de combustible se pueden clasificar en base a diferentes criterios tales como: tipo de combustible y oxidante, tipo de electrolito, temperatura, sistema de alimentación de reactivos a la pila y lugar donde se procesa el combustible. La clasificación más utilizada es la referente al tipo de electrolito, que a su vez condiciona la temperatura de operación de la pila, los materiales que pueden usarse, el tiempo de vida y las reacciones que tienen lugar en los electrodos.

A continuación se hace una breve descripción de las celdas de combustible clasificadas por el tipo de electrolito que usan (DOD, 2006):

- Alcalinas (AFC: Alkaline Fuel Cell). Usan como electrolito una disolución de KOH concentrada (85%) para operación a alta temperatura (250 °C) o menos concentrada (35-50 %) para trabajar a menores temperaturas (<120 °C). Al ser un electrolito líquido se impregna en una matriz, normalmente asbesto. Los electrodos contienen cantidades elevadas de metales nobles tales como platino/paladio u oro/platino. Existe un amplio abanico de electrocatalizadores que pueden usarse (níquel, plata y óxidos metálicos). Este tipo de células no permiten la presencia de dióxido de carbono en el combustible o en el oxidante, puesto que pueden producir la carbonatación del combustible.
- Ácido fosfórico (PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cell). El electrolito es ácido fosfórico concentrado (~100 %), impregnado en una matriz (habitualmente de carburo de silicio) y operan a temperaturas comprendidas entre 150 – 220 °C. Los electrodos son de platino soportado normalmente sobre carbón y tienen elevada sensibilidad al envenenamiento por monóxido de carbono (toleran una concentración inferior al 1,5%). El vapor de agua producido puede usarse para cogeneración. En cuanto a las desventajas, se pueden citar: el uso de platino por su alto precio, menor capacidad de generación que otras células y un mayor tamaño y peso.
- Poliméricas o de membrana (PEFC: Polymer Electrolyte fuel Cell, PEMFC: Proton Exchange Membrana Fuel Cell). Usan una membrana polimérica fina como electrolito (normalmente de ácidos sulfónicos perfluorados) que debe estar hidratada para permitir la conducción de los protones. Se han desarrollado membranas de 12-20 micras, que son excelentes conductoras de protones. La membrana está recubierta en ambas caras con partículas de metales o aleaciones metálicas muy dispersas, que son los catalizadores. El catalizador más usado es platino soportado sobre carbón (con cargas de 0,3 mg/cm<sup>2</sup>), o si el hidrógeno alimento tiene trazas de monóxido de carbono se emplean aleaciones de platino y rutenio. Estas células trabajan a temperaturas relativamente bajas (60 – 100 °C), soportan altas densidades de corriente y son adecuadas en aplicaciones donde se necesitan respuestas rápidas a cambios en la demanda, como en los automóviles.

- Óxidos sólidos (SOFC: Solid Oxide Fuel Cell; IT-SOFC: Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell). Utilizan como electrolito un óxido metálico no poroso, normalmente  $ZrO_2$  estabilizado con  $Y_2O_3$ . El sistema trabaja a  $900-1.000^\circ C$ , produciéndose la conducción iónica por los iones oxígeno. El ánodo es una mezcla de metal de níquel y óxido de circonio y el cátodo de manganita de lantano con estroncio o selenio. Puede usarse para aplicaciones de alta energía, incluyendo centrales de generación eléctrica industriales de gran tamaño. Las eficacias pueden alcanzar el 60% y el 85 % con cogeneración
- Carbonatos fundidos (MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell). El electrolito es una combinación de carbonatos de litio, sodio y/o potasio, impregnados en una matriz cerámica de aluminato de litio ( $LiAlO_2$ ). Trabajan a  $600-700^\circ C$ , ya que en este intervalo los carbonatos forman una sal fundida altamente conductora, proporcionando los aniones carbonato la conducción iónica. Debido a la elevada temperatura, no se necesitan metales nobles para las reacciones de oxidación y reducción, utilizándose níquel dopado con cromo o aluminio en el ánodo y óxido de níquel con litio en el cátodo. Se pueden alcanzar eficacias del 70%, además de la posibilidad de realizar cogeneración con el calor residual producido. Admiten dióxido y monóxido de carbono como oxidantes, con lo que pueden utilizarse con hidrógeno obtenido a partir de combustibles fósiles.
- Metanol directo (DMFC: Direct Methanol Fuel Cell). Son similares a las PEMFC puesto que tienen una membrana para separar los electrodos. Sin embargo utilizan un electrocatalizador en el ánodo para obtener hidrógeno a partir del metanol, eliminando la necesidad del reformador del combustible. Como electrocatalizadores se utilizan mezclas de metales como platino/rutenio o platino/estaño. Estas pilas trabajan a temperaturas bajas, similares a las PEMFC aunque un poco superiores para aumentar la densidad de potencia. La opción del metanol como combustible es muy atractiva puesto que puede obtenerse a partir de gas natural o biomasa y tiene una densidad energética específica muy alta.