



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

**Aprovechamiento del potencial del
océano para resolver la escasez de agua**

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE:
INGENIERO MECÁNICO
PRESENTA

JAVIER NOÉ AVILA CEDILLO

DIRECTOR DE TESIS: DR. VICENTE BORJA RAMIREZ

MÉXICO D.F

ABRIL-2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

Contenido	Pagina
Introducción.....	3
Objetivo.....	3
Metodología.....	3
La alianza Merelan.....	4
1. Escasez del agua alrededor del mundo	5
2. Antecedentes.....	6
2.1 Océanos.....	6
2.2 El agua de mar.....	7
2.2.1 Salinidad.....	8
2.2.2 Conductividad Eléctrica.....	9
2.2.3 Densidad.....	9
2.2.4 pH.....	9
2.2.5 Gases.....	9
2.2.6 Usos.....	10
2.3 Las Mareas	11
2.4 Corrientes marinas.....	11
2.5 Termoclinas.....	11
2.6 Soluciones al problema del agua potable.....	13
2.6.1 Soluciones tradicionales.....	13
2.6.2 Soluciones innovadoras.....	14
2.7 Una oportunidad para la desalación.....	14
2.8 Tecnologías de desalación.....	15
2.8.1 Osmosis inversa.....	15
2.8.2 Procesos de destilación.....	18
2.8.2.1 Multi-Stage Flash.....	18
2.8.2.2 Proceso de desalación de múltiple efecto MED.....	22
2.8.2.3 Compresión de vapor.....	25
2.9 Diagrama de flujo del proceso.....	26
3. Tabla de innovación del producto.....	27
4. Evaluación preliminar de las necesidades.....	28
5. Nuestro Reto.....	28
6. Mercado Potencial.....	29
7. Necesidades de los consumidores.....	32
8. Entendiendo a nuestros usuarios finales.....	32
9. Conceptos.....	33
9.1 Conceptos para resolver la escasez del agua alrededor del mundo haciendo uso del potencial del océano.....	34
9.1.1 Expropiación de una plataforma de perforación para desalación.....	34
9.1.2 Colector solar para la plataforma de desalación.....	34
9.1.3 Buque tanque con capacidad para almacenar agua pura y sal.....	35
9.1.4 Uso de ventilas hidrotermales.....	36
9.1.5 Aprovechamiento de las corrientes de alta velocidad dentro del Golfo de California.....	38
9.1.6 Distribuidor de poder del uso de OTEC.....	38
9.1.7 Uso de agua fría tomada del fondo marino. Para su uso en el sistema de aire acondicionado.....	38
9.1.8 Aerogenerador de aire.....	39
9.2 Conceptos enfocados en la distribución del agua.....	39
9.2.1 Ruteador de agua.....	39
9.2.2 Distribuidor de agua producto de la desalación.....	40

9.2.3	Camión distribuidor de botellones de agua.....	41
9.3	Conceptos enfocados en la solución del problema de escasez de agua de forma general.....	42
9.3.1	Purificador de agua.....	42
9.3.2	Sistema de almacenamiento de agua de deshielo.....	43
9.3.3	Técnica de perforación.....	44
9.3.4	Colector de agua de lluvia.....	45
10.	Selección de conceptos.....	46
11.	Variables del proyecto.....	47
11.1	Plataforma.....	48
11.1-1	Plataforma Flotante.....	49
11.1-1.1	Tipo sumergibles FPSO.....	50
11.1-1.2	Plataformas sumergibles de estructura redonda.....	50
11.1-1.3	Plataforma semi-sumergible.....	50
11.1-2	Plataforma fija.....	51
11.2	Tecnología de desalación OTEC.....	52
11.2.1	Ciclo abierto.....	54
11.2.2	Ciclo cerrado.....	56
11.2.3	Ciclo Hibrido.....	57
11.3	Transporte.....	58
11.3.1	Bolsas de agua.....	58
12.	Ejemplo de puesta en marcha Planta Merelan.....	59
12.1	Litros producidos por una planta OTEC en el golfo de México.....	59
12.2	Ciclos de entrega mediante barcos remolcadores.....	63
13.	Evaluación de sustentabilidad planta Merelan en el Golfo de México.....	65
14.	Impacto Financiero.....	66
15.	Propuesta de Valor.....	66
16.	Conclusiones.....	67
	Evaluación.....	68
	Referencias bibliográficas.....	69
	Referencias electrónicas.....	69
	Anexos.....	71
I.	Lista de figuras.....	71
II.	Lista de Tablas.....	72
III.	Análisis financiero.....	73
IV.	Mapas e Imágenes GIS.....	77

Introducción

¿Que harías si tuvieras que escoger entre tener agua contaminada o no tener agua?
¿Existe realmente esa elección? La gente alrededor del mundo enfrenta diariamente este problema, la escasez de agua pura será un problema incremental conforme aumente la población mundial y disminuyan los mantos acuíferos.

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud más de 1.1 billones de personas no tienen acceso al agua potable y se estima que un millón de personas mueren al año a causa de la escasez de este vital recurso.

Kofi Annan, séptimo Secretario General de las Naciones Unidas ONU, pronunció: "No podemos combatir enfermedades como el sida, tuberculosis, malaria u otra enfermedad infecciosa que plague el mundo actual hasta que no hayamos ganado la batalla por proporcionar agua pura y cuidados básicos en materia de salud".

Es por ello la importancia del agua pura. Es vida.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es desarrollar una solución sustentable para resolver la escasez de agua en un contexto global así como detallar los conceptos principales del curso Desarrollo de Productos Sustentables impartido en la Universidad de California Berkeley.

Metodología

La realización de esta tesis esta basada en el curso de desarrollo de productos sustentables, que se impartió en la Universidad de California Berkeley con la cual la Facultad de Ingeniería tiene una relación directa de colaboración; se formaron diferentes equipos para el desarrollo de un producto o servicio sustentable, la UNAM tuvo la oportunidad de participar en tres proyectos a gran escala el primero de ellos es acerca del tratamiento de aguas grises en donde colaboraron dos integrantes de la Universidad Nacional Autónoma de México, el segundo, una comunidad sustentable que contaba con un alumno de la Facultad de Ingeniería y una alumna del Centro de Diseño Industrial y finalmente el tema Desalinización de agua de mar en el cual colaboramos cuatro alumnos de Ingeniería y tres alumnos de la Universidad de California, Berkeley, dicho proyecto se llevo a cabo a lo largo del semestre 2008-1.

La alianza Merelan



La alianza Merelan fue creada por estudiantes de Negocios e Ingeniería de la Universidad de California Berkeley y alumnos de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. La alianza tiene el objetivo de aprovechar el potencial del océano y utilizar una tecnología de desalación para distribuir agua pura a comunidades afectadas por la escasez de agua.

El nombre “Merelan” simboliza el compromiso de la alianza para aprovechar el potencial de los océanos (“mer”) para sostener la vida (“elan”). El objetivo final de la alianza es el distribuir más agua a un mayor número de comunidades de una manera sustentable y asequible, aprovechando las alianzas estratégicas con los municipios, distritos de agua y compañías privadas para reducir los costos en capital, energía y transporte.

La alianza esta conformada por Kenneth Armijo por la Universidad de California Berkeley M.S/Ph.D. in Mechanical Engineering, Kunal Nagpal por Haas School of Business, UC Berkeley, Master in Business Administration, Annabelle Louie por Haas School of Business, UC Berkeley Master in Business Administration, Masahiko Rivas por la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería estudiante de Ingeniería Mecatrónica, Arturo Bastidas Cruz por la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, estudiante de Ingeniería Mecatrónica, Aldo Vargas por la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, estudiante de Ingeniería Mecatrónica, Javier Noé Ávila Cedillo por la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, estudiante de Ingeniería Mecánica.



Figura1 Alianza Merelan, Universidad de California Berkeley y Facultad de Ingeniería UNAM

1.1. Escasez de agua alrededor del mundo

Se dice que nuestro planeta bien podría ser llamado “Agua” esto gracias a que el 75% de la superficie total del planeta esta cubierta por este vital liquido sin embargo del total del agua del planeta únicamente el 3% es considerada agua potable y de este 3% la mayor se encuentra confinada en los casquetes polares o en yacimientos a niveles de profundidad muy altos mientras que el agua potable disponible en los ríos, lagos y en los yacimientos accesibles se contamina de manera incremental.¹

El agua es seguramente el recurso que es objeto de más uso y abuso. Según el Banco Mundial, «las guerras del siglo XXI estarán relacionadas con el agua».

El uso del agua se duplica cada veinte años. Más de treinta países sufren escasez de agua y problemas relacionados, y más de mil millones de personas carecen de acceso suficiente a agua potable. Para el año 2025, dos tercios de la población mundial sufrirán de una grave escasez de agua.

En algunas regiones de México, el agua potable es tan escasa que los niños beben, desde pequeños, bebidas como Coca-Cola y Pepsi. La escasez de agua es claramente una fuente de beneficios empresariales. Los productos de Coca-Cola se venden en ciento noventa y cinco países y generan ingresos de 16,000 millones de dólares.

Como dice un informe anual de Coca-Cola: “Todos nosotros, en la familia Coca Cola, nos levantamos cada mañana sabiendo que cada uno de los 5.600 millones de habitantes del mundo va a tener sed ese día. Si hacemos que a esos 5.600 millones les resulte imposible huir de Coca-Cola, podremos garantizar nuestro éxito futuro durante muchos años. Cualquier otra cosa no es una opción”.²

¹ Tomado de Hawken,Paul; Natural Capitalism, Capitulo Aqueous Solutions.

² Tomado de Giddens y Huton Eds. El mundo en el límite; la vida en el capitalismo global.Tusquets Barcelona 2001.

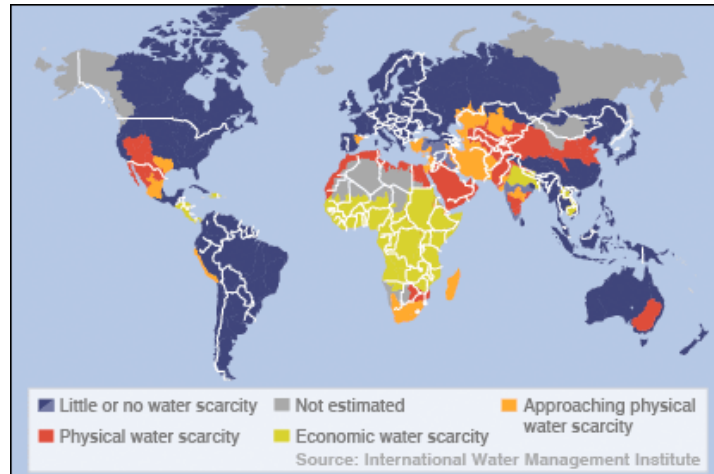


Fig. 1.1-1 Regiones afectadas por la escasez de agua

2. Antecedentes.

2.1 Océanos

Se denomina océano a la parte de la superficie terrestre ocupada por el agua marina. Se formó hace unos 4000 millones de años cuando la temperatura de la superficie del planeta se enfrió hasta permitir el agua en estado líquido. El océano está dividido por grandes extensiones de tierra que son los continentes y grandes archipiélagos en cinco partes que, a su vez, también se llaman océanos:

- Océano Pacífico
- Océano Atlántico
- Océano Índico
- Océano Antártico
- Océano Ártico

Los océanos Pacífico y Atlántico se dividen en Norte y Sur: Atlántico Norte, Atlántico Sur, Pacífico Norte y Pacífico Sur.

Los océanos cubren el 71 % de la superficie de la Tierra, siendo el Pacífico el mayor de los océanos.

La profundidad de los océanos es variable dependiendo de las zonas del relieve oceánico pero resulta escasa en comparación con su superficie. Se estima que la profundidad media es de unos 4 Km. La parte más profunda se encuentra en la fosa de las Marianas alcanzando los 11,033 m de profundidad.

En los océanos hay una capa superficial de agua templada (12° a 30°C), que llega hasta una profundidad variable según las zonas, de entre unas decenas de metros hasta los

400 o 500 metros. Por debajo de esta capa el agua está fría con temperaturas de entre 5° y -1°C. Se llama termoclina al límite entre las dos capas. El agua está más cálida en las zonas templadas, ecuatoriales y tropicales, y más fría cerca de los polos. Y, también, más cálida en verano y más fría en invierno.

2.2 El agua de mar

El agua de mar es la que se puede encontrar en los océanos y mares de la Tierra. Es salada por la concentración de sales minerales disueltas que contiene, un 35‰ (3,5%) como media, entre las que predomina el cloruro sódico, también conocido como sal de mesa. El océano contiene un 97,25% del total de agua que forma la hidrosfera.

El agua de mar es una disolución en agua (H₂O) de muy diversas sustancias. Hasta los 2/3 de los elementos químicos naturales está presentes en el agua de mar, aunque la mayoría sólo como trazas. Seis componentes, todos ellos iones, dan cuenta de más del 99% de la composición de solutos. La tabla adjunta enumera los más abundantes.

Tabla 2.2-1 Composición de solutos sólidos del agua de mar.

Composición de solutos sólidos del agua de mar, cada uno expresado como porcentaje del total			
Aniones		Cationes	
Cloruro (Cl ⁻)	55,29	Sodio (Na ⁺)	30,75
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	7,75	Magnesio (Mg ⁺⁺)	3,70
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	0,41	Calcio (Ca ⁺⁺)	1,18
Bromuro (Br ⁻)	0,19	Potasio (K ⁺)	1,14
Flúor (F ⁻)	0,0037	Estroncio (Sr ⁺⁺)	0,022
Molécula no disociada		Ácido bórico (H ₃ BO ₃)	0,076

2.2.1 Salinidad

El estudio de la composición se simplifica por el hecho de que las proporciones de los componentes son aproximadamente las mismas, aunque la concentración conjunta de todos ellos es enormemente variable. Nos referimos a esa concentración total como salinidad, que suele expresarse en tanto por mil (‰). Gracias a la universalidad de su composición, la salinidad suele ser estimada a partir de la medición de un solo parámetro, como la conductividad eléctrica, el índice de refracción o la concentración de uno de sus componentes, generalmente el ion cloruro (Cl⁻).

La salinidad presenta variaciones cuando se comparan las cuencas, las distintas latitudes o las diferentes profundidades. Favorece una salinidad más elevada la evaporación más intensa propia de las latitudes tropicales, sobre todo en la superficie, y una menor salinidad en la proximidad de la desembocadura de ríos caudalosos y las precipitaciones elevadas. El calor específico del agua salada 1.34 De todos los mares abiertos es el Mar Rojo el que presenta mayor salinidad (40‰), bordeado como está de regiones áridas. El Báltico es el de salinidad menor (6‰ en las aguas superficiales del Golfo de Botnia), por su pequeña profundidad, clima frío y amplitud de las cuencas que vierten sus aguas en él, lo que unido a su topografía casi cerrada, limita mucho los intercambios con el océano mundial. La salinidad es muy variable en los lagos y mares cerrados que ocupan cuencas endorreicas, con sólo un 12‰ en el Mar Caspio y hasta un 330‰ en las capas superficiales del Mar Muerto. El principal factor del que depende la salinidad de los mares interiores es la existencia de drenaje, con uno o más emisarios por que los que desbordar, o que por el contrario la evaporación sea la única forma de compensarse los aportes. Así el Lago Victoria, con un origen tectónico semejante al del Mar Muerto, es un lago de agua dulce a la vez que la fuente principal del caudaloso Nilo.

Las diferencias de salinidad entre masas de agua se combinan con las de temperatura para producir diferencias de densidad, que a su vez son responsables de la convección en que se basa la circulación oceánica a gran escala, la llamada por ello circulación termohalina.

Desde que Halley lo propuso en 1715, se admite que la salinidad del agua del mar es efecto de una salinización progresiva, estabilizada hace ya largo tiempo, debida a un aporte por los ríos, no compensado, de sales procedentes del lavado de las rocas continentales. La salinidad no ha crecido desde hace miles de millones de años, a causa de la acumulación de sal en sedimentos. Hoy en día se acepta que buena parte

del sodio procede de las mismas emisiones volcánicas que facilitaron originalmente la formación de la hidrosfera.

2.2.2 Conductividad eléctrica

El agua de mar presenta una elevada conductividad eléctrica, a la que contribuyen la polaridad del agua y la abundancia de iones disueltos. La conductividad varía sobre todo con la temperatura y la salinidad, y su medición permite, una vez controlada la temperatura, conocer la salinidad.

2.2.3 Densidad

La densidad del agua del mar es una de las propiedades más importantes. Su variación provoca corrientes. Es determinada usando la ecuación internacional de estado del agua de mar a presión atmosférica, que es formulada por la UNESCO (UNESCO Technical Papers in Marine Science, 1981) a partir de los trabajos realizados a lo largo de todo este siglo para conocer las relaciones entre las variables termodinámicas del agua del mar: densidad, presión, salinidad y temperatura. La densidad de la típica agua del mar (agua salada con un 3,5% de sales disueltas) suele ser de 1.02819 Kg/l a los -2°C, 1.02811 a los 0°C, 1.02778 a los 4°C, etc.

La densidad aumenta con un aumento en la salinidad y una disminución de la temperatura, excepto a temperaturas por debajo del máximo de densidad.

2.2.4 pH

El pH del agua de mar es básico, variando entre 7,5 y 8,4. La intensa contaminación industrial con CO₂ ha producido ya una acidificación (reducción del pH) perceptible del agua de mar, que se estima es sólo la fase inicial de un fenómeno tan imparable como el calentamiento global.

2.2.5 Gases

Los gases disueltos son los mismos que componen el aire libre, pero en diferentes proporciones, condicionadas por diversos factores. La temperatura y la salinidad influyen reduciendo la solubilidad de los gases cuando cualquiera de esos dos parámetros aumenta. Otros factores son la actividad metabólica de los seres vivos y los complejos equilibrios químicos con los solutos sólidos, como el ion bicarbonato (HCO₃⁻). La concentración total y la composición de los gases disueltos varían sobre todo con la

profundidad, que afecta a la agitación, la fotosíntesis (limitada a la superficial zona fótica) y la abundancia de organismos.

En aguas oceánicas superficiales bien mezcladas, la composición típica de gases disueltos incluye un 64% de nitrógeno (N_2), un 34% de oxígeno (O_2) y un 1,8% de dióxido de carbono (CO_2), muy por encima éste último del 0,04% que hay en el aire libre. El oxígeno (O_2) abunda sobre todo en la superficie, donde predomina la fotosíntesis sobre la respiración, y suele presentar su mínimo hacia los 400m de profundidad, donde los efectos de la difusión desde el aire libre y de la fotosíntesis ya no alcanzan, pero donde todavía es alta la densidad de organismos consumidores, que lo agotan. La temperatura, más baja en los fondos profundos, afecta a la solubilidad de los carbonatos.

2.2.6 Usos

Debido a la concentración salina, el agua de mar no es potable para el hombre, y su ingestión continua o abundante puede producir serios daños o incluso la muerte. Se necesita más agua pura para excretar las sales que se ingieren con el agua de mar que la que contiene el volumen ingerido, por lo cual no es posible con ella calmar la sed, sino que se logra el efecto opuesto. No obstante el agua marina, o la salobre de lagunas costeras, es empleada cada vez más, a través de técnicas de desalación, para obtener agua potable.

En Hong Kong el 90% del agua doméstica empleada para aseo personal es agua de mar, lo que permite reservar la escasa agua potable, pero complica el tratamiento posterior de los vertidos.

La sal es un complemento necesario de la nutrición humana, aunque su abuso produce serios problemas, y ha sido un recurso buscado desde la antigüedad. Su explotación se ha hecho a partir de yacimientos geológicos evaporíticos, lagos endorreicos a menudo hipersalinos y también por medio de salinas situadas en la costa. El comercio de la sal tuvo una gran importancia que se refleja en el significado de la palabra "salario".

2.3 Mareas

Marea es el cambio periódico del nivel del mar, producido principalmente por las fuerzas gravitacionales que ejercen la Luna y el Sol. Otros fenómenos pueden producir variaciones del nivel del mar. Uno de los más importantes es la variación de la presión atmosférica. La presión atmosférica varía corrientemente entre 990 y 1040

hectopascuales y aún más en algunas ocasiones. Una variación de la presión de 1 hectopascal provoca una variación de 1 cm del nivel del océano, así que la variación del nivel del mar debido a la presión atmosférica es del orden de 50 cm. Algunos llaman a estas variaciones mareas barométricas.

Otros fenómenos ocasionales, como los vientos, las lluvias, el desborde de ríos y los tsunamis provocan variaciones del nivel del mar, pero no pueden ser calificados de mareas.

2.4 Corrientes marinas

Una corriente oceánica o marina es un movimiento de traslación, continuado y permanente de una masa de agua determinada de los océanos y, en menor grado, de los mares más extensos.

Generalmente se originan por la diferencia de densidad del agua, que es mayor cuanto más fría y/o salada sea, tendiendo a hundirse para dar lugar a una circulación termohalina condicionada por la diferencia de temperatura y/o salinidad en vertical. Este movimiento tiende a descender, provocando el afloramiento del agua más profunda y cálida para ocupar su lugar. Este descenso puede verse dificultado por el aporte de agua dulce, como podría ser la desembocadura de un río.

Como observamos en la imagen, el inicio de esta circulación comienza en las proximidades de Groenlandia, cerca del límite de los hielos, donde el agua tiende a hundirse por ser salada y fría y por lo tanto densa. Esta corriente recorre el fondo oceánico del Atlántico de norte a sur, hasta que entra en contacto con las gélidas aguas del océano Antártico y asciende, retornando parte de ella hasta su lugar de origen y el resto sumergida nuevamente, debido al intenso enfriamiento superficial discurre por el fondo del océano Índico donde una vez más asciende hasta llegar al Pacífico donde definitivamente asciende y se calienta.

2.5 Termoclinas

Debido a que el agua no es perfectamente transparente, la mayor parte de la luz solar es absorbida en la capa superficial, calentándose. El viento y la circulación de ondas mueven el agua en esta capa, distribuyéndola dentro de ella, haciendo que la temperatura, relativamente se uniformice en las primeras decenas de metros. Debajo de esta capa de mezcla, la temperatura cae muy rápidamente; quizás más de 20 °C en los adicionales 150 m de profundidad. Esa área de rápida transición es la termoclina;

debajo de ella, la temperatura continúa cayendo gradualmente. En los océanos, el 90 % del agua está debajo de la termoclina. Ese océano profundo consiste de capas de igual densidad, pobremente mezclada, y tan fría como 0 a 3 °C

La termoclina varía con la latitud y la estación: es permanente en los trópicos, variable en los climas templados (más fuerte en los veranos), y débil a inexistente en las regiones polares, donde la columna de agua está tan fría en la superficie como en el fondo.

En el mar abierto, se caracteriza por una gradiente negativa de velocidad sónica, haciendo a la termoclina importante en la guerra submarina, debido a que puede producir reflejos en sonares activos.

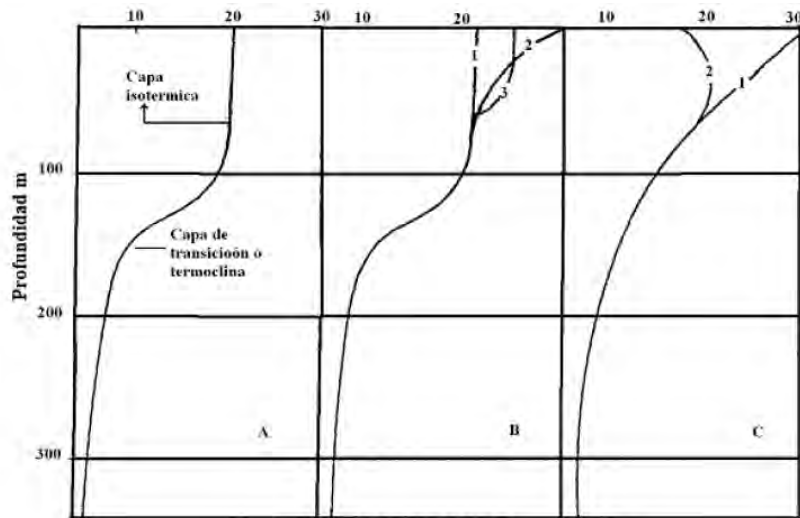


Figura 2.5.1 Variación de la temperatura con respecto a la profundidad

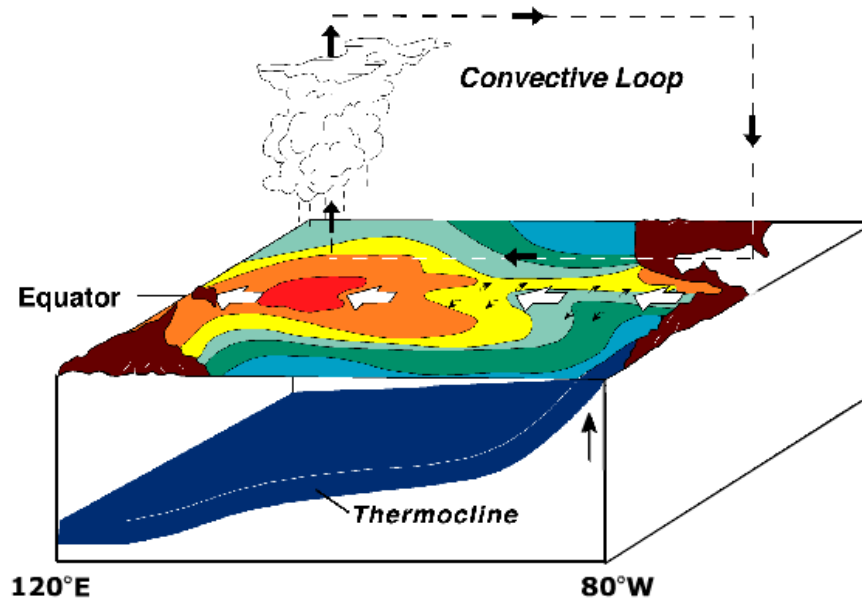


Figura 2.5.2 Termoclina

2.6 Soluciones al problema de la escasez de agua potable

Para resolver el problema de la escasez de agua existen dos tipos de soluciones las cuales nos llevan a analizarlas y conocer cual de ellas es la mejor opción para el desarrollo del proyecto.

2.6.1 Soluciones tradicionales

Las soluciones tradicionales para satisfacer las necesidades de agua han sido, el desvío de ríos y la explotación de los pozos y mantos subterráneos, sin embargo estos métodos han llevado consigo problemas ambientales como la desaparición de lagos y deltas así como una disminución de los cuadros de agua y hundimientos de superficie que es literalmente el hundimiento del terreno por la sobreexplotación del manto acuífero.

Desvío de ríos: Existen tres tipos de desviaciones de ríos: desviación total, desviación parcial y desviación reducida.

2.6.2 Soluciones innovadoras

En la actualidad un buen número de nuevas soluciones para el problema de la escasez de agua han emergido las cuales se pueden dividir en tres categorías: Aumentar el suministro, disminuir el suministro o reducir la demanda cada una de estas soluciones tienen ventajas y desventajas. En particular el análisis se enfocará en la oportunidad de aumentar el suministro. Se identificaron dos oportunidades. La desalinización, que consiste en remover la sal del agua de mar, se tiene un suministro ilimitado con muchos retos en energía y transportación y Reciclado de aguas grises que puede ser relativamente rentable, pero se enfrentan problemas tanto con el sector público como con el sector farmacéutico.

2.7 Una oportunidad para la desalinización

Desde los tiempos prehistóricos, los problemas suscitados por la cantidad y la calidad del agua fueron de solución imprescindible para la existencia de las agrupaciones humanas. Cuando el agua escaseaba, sobrevinía el éxodo de los pueblos, el abandono de terrenos que una vez fueron fértiles y aun la desaparición de culturas milenarias.

Expertos prevén para el año 2015 el agotamiento de los recursos de agua consumible en las regiones habitadas del planeta. Sin embargo, en la Tierra estamos rodeados de agua salada. Si fuera posible quitar las sales del agua del océano mediante un proceso barato, podrían resolverse algunos de los problemas más urgentes de la humanidad. Las tierras áridas que cubren más de una tercera parte de la superficie de los continentes (la tierra de cultivo equivale sólo a una décima parte) podrían ser fértiles otra vez.³

La conversión del agua de mar en agua dulce no es una idea nueva. La destilación, el método básico para hacerlo, se practica desde hace 2 000 años, particularmente por los marinos. El hombre primitivo hizo otro tanto, pero si procedía a la evaporación del agua era para obtener sal.

En el pasado, tanto desde el punto de vista geográfico como económico, sólo en situaciones especiales se ha justificado la instalación de grandes plantas para desalar el agua de mar. El mejor ejemplo lo constituyen los países petroleros del Golfo Pérsico,

³ Referencia tomada en http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/097/htm/sec_10.htm

donde hasta hace 35 años se tenía que importar agua dulce por barco a un costo exorbitante.

Hoy en día los avances en las tecnologías de desalación, los ahorros en los costos dados por el acortamiento de la distancia entre la costa y la planta desaladora, así como la disposición de incentivos económicos han hecho el costo de desalinización mas competitivo. Estos desarrollos han llevado a las autoridades del agua en los Estados Unidos de América y a las mexicanas a participar en un análisis de las opciones que puedan llevar a la desalinización a ser una realidad palpable en sus respectivas costas.

2.8 Tecnologías de desalinización.

La desalinización es un proceso que elimina los minerales disueltos (incluyendo pero no limitado a la sal) de agua de mar, agua salobre o aguas residuales tratadas. Algunas tecnologías se han desarrollado para la desalinización, estas son la ósmosis inversa RO (por sus siglas en ingles), la destilación, electrodiálisis, y la congelación de vacío. Dos de estas tecnologías, RO y la destilación, están siendo considerados por municipios, distritos de agua, y empresas privadas para el desarrollo de la desalación de agua de mar en California. Estos métodos se describen a continuación.

- 2.8.1 Osmosis Inversa (RO)

La Osmosis Inversa (RO) (es considerada como la técnica más prometedora para la desalinización de agua de mar (Furukawa, 1997). (Semiat)

La osmosis inversa utiliza la presión dinámica para superar la presión osmótica de la solución de sal, es por ello que el agua pasa del lado salino de la membrana a la parte de agua dulce (Faller, 1999). Las sales se filtran en la membrana y por lo tanto, se logra la separación. La osmosis inversa utiliza membranas semi-permeables con capas poliméricas delgadas, adheridas a una gruesa capa de apoyo. Las membranas están compuestas generalmente por acetatos de celulosa, poliamidas, polimidias, y polisulfonas. Las membranas son sensibles a los cambios de pH, las pequeñas concentraciones de sustancias acidas como el cloro y el los óxidos de cloro así como a una amplia gama de materiales orgánicos, y la presencia de algas y bacterias.

Por lo tanto, se requiere un cuidadoso tratamiento previo con el fin de prevenir la contaminación de membranas: Un prefiltrado para eliminar los sólidos en suspensión del agua de alimentación; Una dosificación de ácidos (sulfúrico y clorhídrico) para eliminar los iones de bicarbonato, seguido de una aireación para eliminar el dióxido de carbono, y filtración de carbón activado para eliminar material orgánico disuelto y compuestos de cloro. Diferentes anti-escalantes se utilizan con el fin de evitar la precipitación de sales disueltas debido a una mayor concentración. Estos son eficientes contra la precipitación de CaCO_3 , CaSO_4 , SrSO_4 , BaCO_3 , pero son menos eficaces en el caso de la precipitación de sílice.

Con el fin de permitir el mejor radio de la membrana a los volúmenes de operación, han sido diseñados 2 conceptos que permiten adaptarse a la presión de los vasos: Membranas en espiral y membranas huecas. La tabla 2.8.1-1 muestra una comparación de las dos.

Tabla 2.8.1-1 Tabla de comparación de las membranas

Membranas en espiral	Membranas Huecas
Ofrecen mayor permeabilidad	Mayor superficie, dando como resultado una mayor capacidad
Ocupan un mayor espacio	Ocupan un menor espacio
Menor presión	Mayor presión
Menor consumo	Mayor consumo
Alto rechazo a las sales	Bajo rechazo a las sales
El agua de alimentación requiere un pre-tratamiento	Pre-tratamientos mas caros
No se requiere de una capa química adicional	Requiere de una capa química haciéndola menos asequible.
1000 PSI	1200 PSI
Para aguas contaminadas los resultados son mejores	En aguas contaminadas la membrana se llega a contaminar.
Un mayor rango de productos disponibles.	Menor rango de productos disponibles.

La figura 2.8.1.1 muestra una presentación esquemática de una planta de desalinización RO. El proceso tiene lugar en la temperatura ambiente. La única energía necesaria es eléctrica y se utiliza para bombear el agua a una relativamente alta presión de funcionamiento. Con el uso de turbinas especiales es posible recuperar parte de la energía. Las presiones de operación varían entre 10,25 bares para el agua salobre y para el agua de mar el rango es entre 50 y 80 bares.

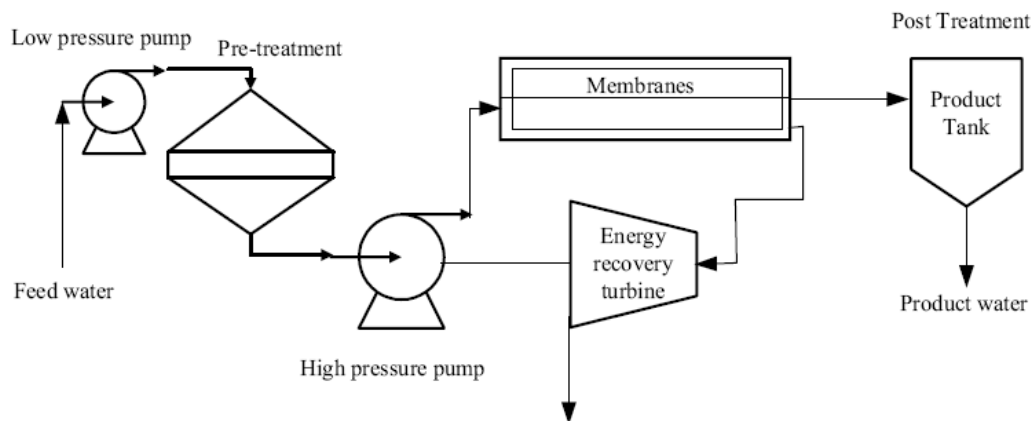


Figura 2.8.1.1 Representación esquemática de una planta de desalinización de osmosis inversa

Se requiere de una alta presión para dar una permeabilidad suficiente a concentraciones relativamente altas de salmuera a lo largo del eje del contenedor de presión. La conversión de agua puede estar situada en un 90.95 por ciento en el caso de agua salobre y por debajo del 50 por ciento en el caso de agua de mar. Una baja recuperación es obtenida especialmente en un mar relativamente cerrado, tal es el caso del mar rojo o el Golfo Pérsico.

El aumento de la temperatura del agua, hasta el límite de la resistencia en la membrana, también aumenta el flujo a través de esta. Esto exige el aumento de la eficiencia mediante el uso de agua de mar caliente que fluye del sistema de refrigeración hacia una fuente de poder.

La calidad del agua depende de las propiedades de cada membrana, el grado de recuperación del agua, y el buen diseño del sistema. Algunas relativamente pequeñas moléculas como el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno, la sílice, y el ácido bórico pueden penetrar y contaminar el agua. Estos problemas se pueden solucionar ya

sea por el uso de aireación, el uso de intercambiadores de iones y/o la mezcla o cambio del contenido para diluir la concentración.

Los pequeños compuestos orgánicos disueltos en el agua de alimentación también pueden encontrar un camino hacia el agua producida. La calidad del producto es justo. Depende de la calidad del agua de alimentación (agua de mar o salobre), el contenido de sal puede variar entre 100 y 600 ppm de sólidos disueltos totales (TDS). Esto puede ser mejorado mediante el uso de una segunda etapa, lo que aumentará el costo significativamente, pero resulta útil en los casos en que el agua ultra pura es una necesidad.

La osmosis inversa se utiliza generalmente para pequeñas y grandes plantas de desalinización, esto asciende a alrededor de 22 por ciento de las plantas más grandes del mundo con una capacidad por encima de los 4000 m³/día (Wangnick, 1996).

Los sistemas de osmosis inversa pueden ser fácilmente integrados dentro de otras tecnologías de la desalación térmica, es decir, sistemas híbridos para la producción eficiente de agua.

- 2.8.2 Procesos de destilación

La destilación a altas temperaturas, en general, es un proceso de desalación más económico. La principal ventaja de elevar la temperatura del proceso es aumentar la diferencia entre la temperatura de operación máxima y la temperatura del agua de alimentación. Esta diferencia de temperatura es la fuerza motriz de la evaporación. Es decir, cuanto mayor es la diferencia, mayor será la cantidad de agua que se puede producir para un determinado tamaño de evaporador. Esta diferencia podría también permitir la utilización de un mayor número de etapas, que se utiliza en la tecnología Multi-Stage Flash (MSF). El uso de esta diferencia de temperatura se traduce en un aumento en el rendimiento y, por lo tanto, se puede producir más agua por cada unidad de energía de entrada. Mientras que al aumentar las etapas se aumenta el costo de capital de este proceso, se reducen los requisitos de calor.

- 2.8.2.1 Multi-Stage Flash

La destilación multi-stage Flash, es actualmente la tecnología mas simple y común de desalación. Ha sido utilizada comercialmente por más de 30 años (Awerbuch, 1997). La figura 2.8.2.1-1 muestra una representación esquemática de la planta de desalinización MSF.

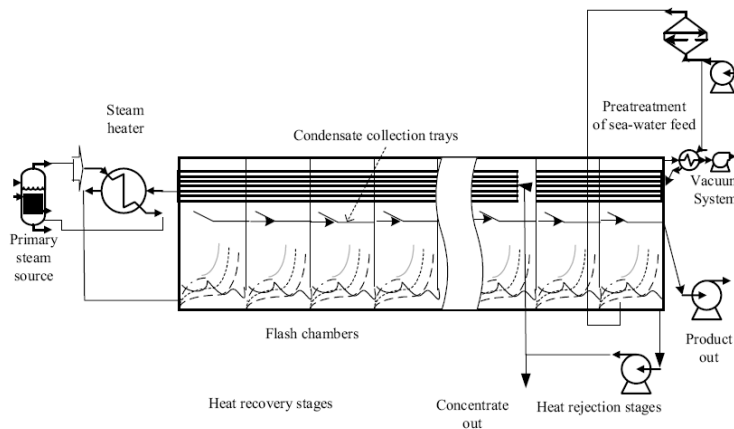


Figura 2.8.2.1-1 Representación esquemática de una planta de desalinización Multi-Stage Flash

El objetivo de este proceso es el de obtener agua destilada a través de un sistema multi-etapa que opera a distintas presiones de vacío. El principio de funcionamiento de esta tecnología involucra tres sistemas principales (sistema de alimentación de agua, sistema de vacío y sistema de calentamiento).

Básicamente en una primera etapa el agua de alimentación es conducida a través de distintos filtros los cuales retendrán la mayor parte de sólidos suspendidos para así entrar a los intercambiadores de calor instalados en cada cámara los cuales tienen la función por un lado de pre-calentar el agua de alimentación a medida que esta va circulando de cámara en cámara y por el otro de condensar el vapor de agua generado en cada cámara. (Figura 2.8.2.1-2).

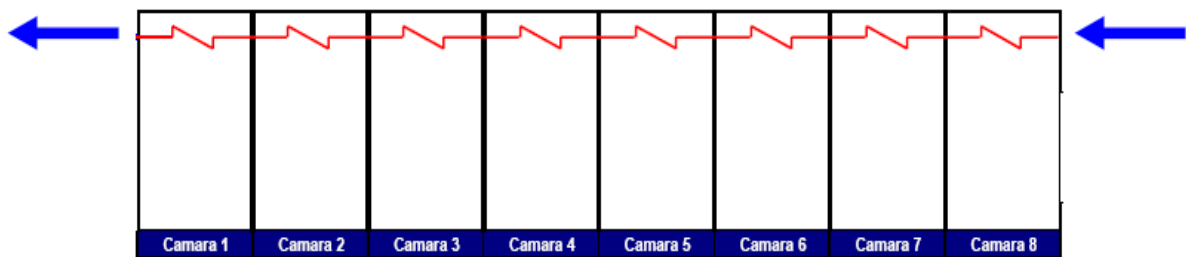


Figura 2.8.2.1-2 Flujo de agua de mar a través de los intercambiadores de calor instalados dentro de cada cámara de vacío.

Una vez precalentada el agua de mar, esta pasa a un intercambiador de calor el cual eleva la temperatura de esta al punto de diseño para ser introducida a la cámara No.1.

El intercambiador de calor es alimentado por un lado con agua de mar (precalentada) y por el otro con vapor de agua (Generalmente es alguna extracción de procesos de generación eléctrica). (Figura 2.8.2.1-3).

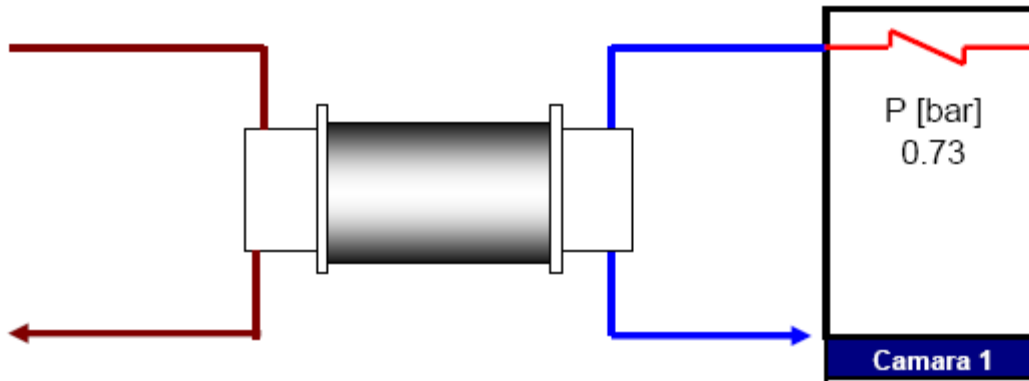


Figura 2.8.2.1-3 Sistema de calentamiento utilizando vapor de extracción

El siguiente paso dentro del proceso inicia cuando el agua de mar (ya calentada) entra a la cámara No.1 la cual se encuentra a presión de vacío donde por condiciones termodinámicas se realiza la evaporación flash. El fluido evaporado pasa a la zona de condensación dentro de la cámara, en la cual el vapor de agua entra en contacto con el intercambiador de calor (que precalienta el agua de entrada) y en esta etapa del ciclo este vapor cede calor al intercambiado y condensa como producto o destilado.

Por otra parte el fluido que no se evaporo en la primer cámara pasa a una segunda cámara la cual esta a una mayor presión de vació y se repite el mismo proceso. Finalmente se colecta el destilado en cada cámara y la salmuera acumulada (o agua de alimentación que no se evaporo y aumento su concentración) Figura 2.8.2.1-4

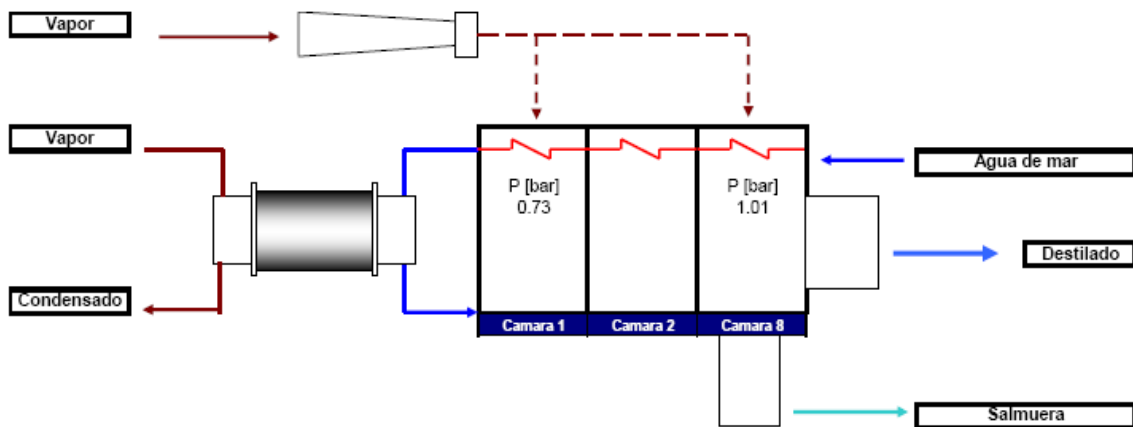


Figura 2.8.2.1-4 Flujo esquemático del proceso

El vacío dentro de las cámara se logra gracias al cambio de volumen entre el vapor generado en el proceso flash y la condensación ya como destilado, sumado al sistema de eyectores que están conectados a la primer y ultima cámara (según sea el arreglo).

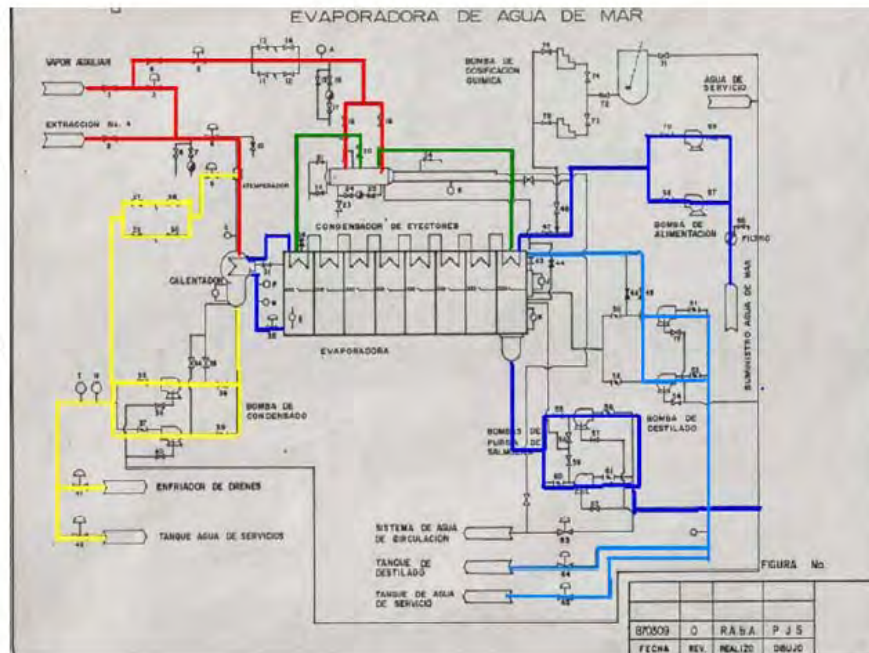


Figura 2.8.2.1-5 Arreglo esquemático de una evaporadora Flash

o 2.8.2.2 Proceso de desalinización de múltiple efecto MED

MED es una de las tecnologías de evaporación más prometedoras existentes en la actualidad (Awerbuch, 1997; Ophir y Weinberg, 1997). El concepto de múltiple efecto

de evaporación es común en la industria química. Se ha utilizado durante muchos años en soluciones concentradas, cristalización, purificación etc. El proceso se ha utilizado para la desalación de agua de mar en los últimos 25 años. Básicamente, el método puede ser utilizado a baja temperatura y vapor a baja presión como fuente principal de energía.

El proceso de múltiple efecto MED, por sus siglas en inglés, se basa en una serie de evaporaciones sucesivas en un conjunto de cámaras llamadas efectos. Esta tecnología utiliza el principio de reducción sucesiva de presión en las cámaras permitiendo de esta manera que la temperatura a la cual hierve el agua de mar sea también cada vez menor. Se utiliza como fuente de calor el vapor proveniente de la extracción de una turbina, o proveniente de una caldera. Este vapor cederá calor latente en el primer efecto para calentar y evaporar cierta cantidad de agua de mar. Después este flujo de vapor obtenido (producto) cederá su calor latente en el intercambiador de calor del segundo efecto y seguirá repitiéndose este proceso para lograr evaporaciones sucesivas del agua de mar.

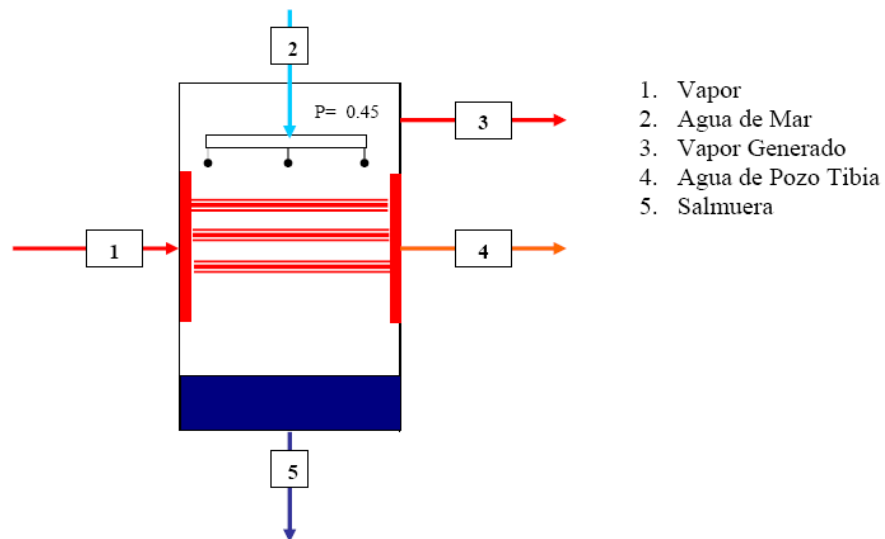


Figura 2.8.2.2-1. Representación esquemática del proceso de desalación MED

Cada una de las cámaras tiene un aspersor en su parte superior que sirve para regar el agua de mar en el interior y un intercambiador de calor para transferir el calor latente del vapor al agua de mar.

Para la alimentación de agua de mar a las cámaras existen dos configuraciones posibles: alimentación en paralelo y alimentación en serie.

❖ Alimentación en paralelo

En la configuración de alimentación en paralelo el agua fría que se introduce a los efectos de la planta MED proviene del mar. En el efecto la temperatura del agua de mar se incrementa hasta alcanzar la temperatura de saturación y el agua comienza a evaporar. Como rechazo se tiene una salmuera caliente.

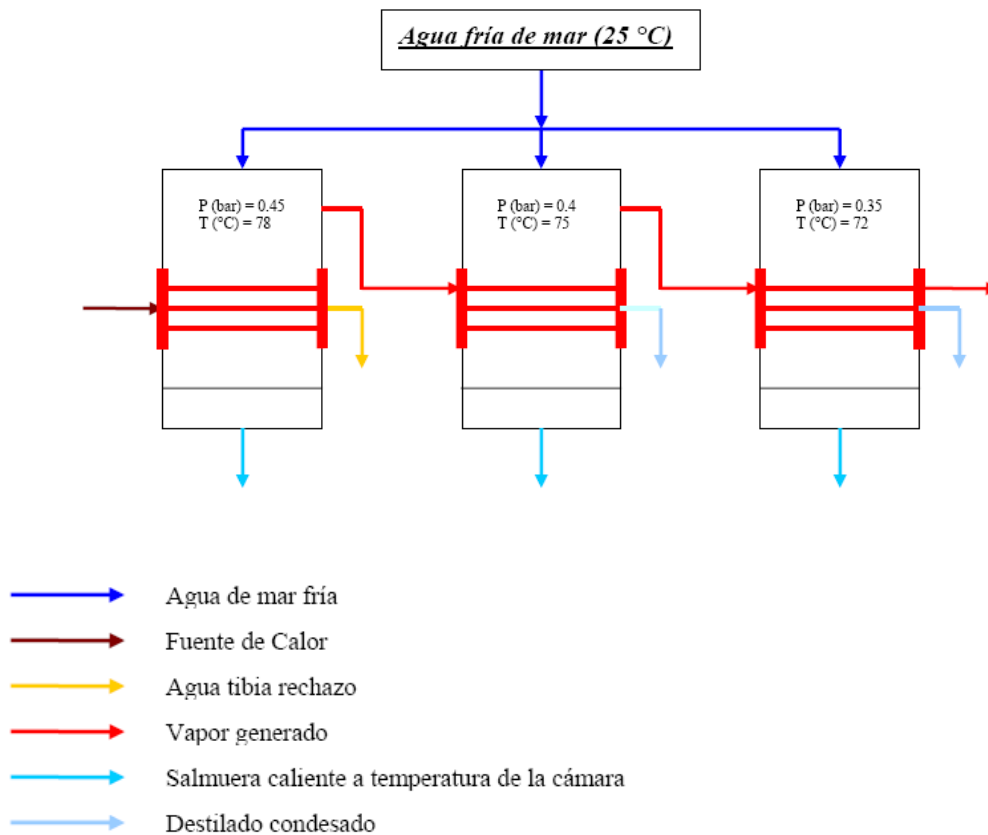


Fig. 2.8.2.2-2 Planta de desalación MED con alimentación en paralelo

Como se observa en la ilustración, en un sistema MED con alimentación en paralelo la salmuera producida en las cámaras se desecha. Haciendo uso de un vapor de agua como fuente de calor, es posible extraer un máximo de vapor del agua de mar y generar una salmuera concentrada. Sin embargo cuando se hace uso de agua caliente como fuente de calor el vapor generado es pequeño, la salmuera no se encuentra a una

concentración máxima y es eliminada, siendo que podría ser concentrada en un segundo efecto.

❖ Alimentación en serie

Una planta MED que haga uso de un agua caliente a 85°C como fuente de calor será energéticamente más eficiente y poseerá un mejor rendimiento con un arreglo de alimentación en serie. A continuación se presenta un diagrama para una planta MED con alimentación en serie y uso de agua caliente a 85°C como fuente de calor:

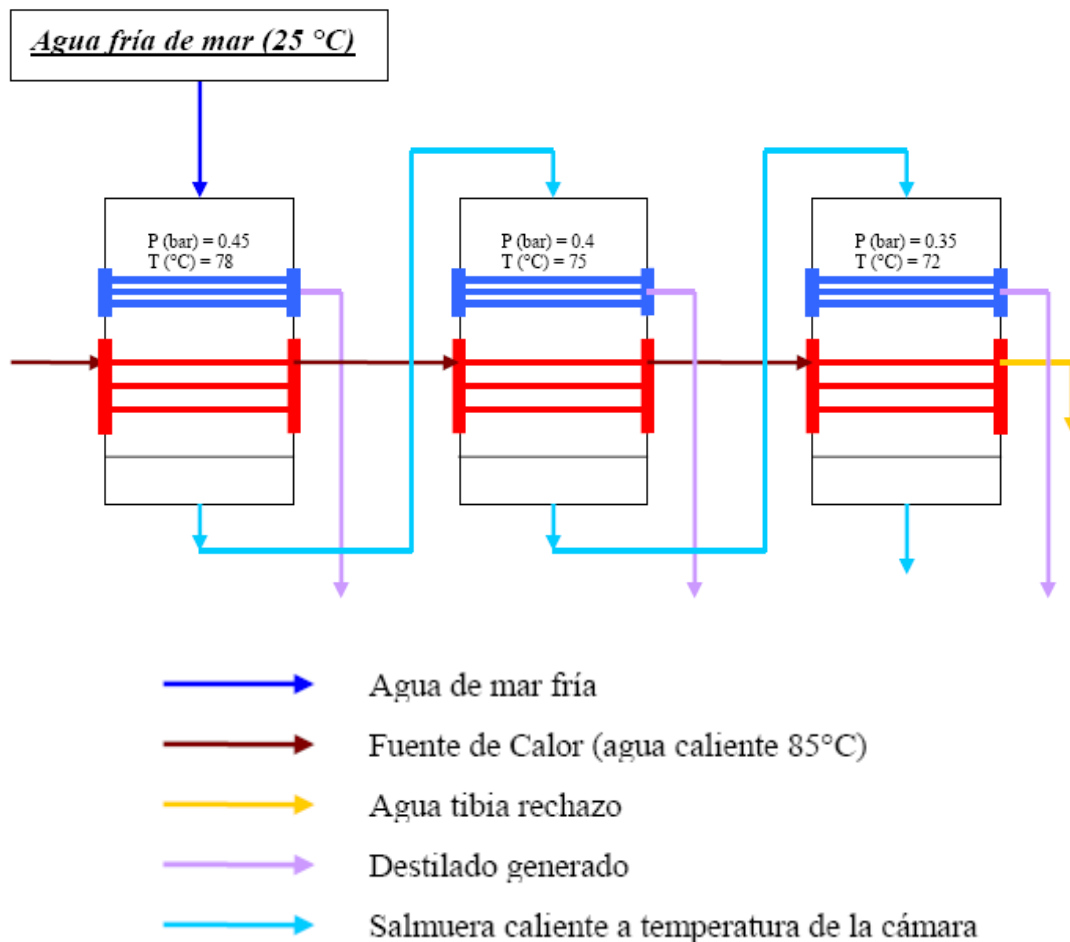


Figura 2.8.2.2-3 Planta de desalación MED en serie

En el arreglo anterior podemos observar que la salmuera se reutiliza en cada efecto, esto nos permite aprovechar la energía que posee este flujo al salir de los efectos. De esta forma al ir reduciendo sucesivamente la presión en cada cámara y aprovechando

la temperatura de la salmuera se logra una mayor evaporación. A su vez se utiliza la fuente de agua caliente para todos los intercambiadores del sistema.

- 2.8.2.3 Compresión de vapor

La compresión de vapor opera principalmente en pequeña escala, pequeñas localidades (Awerbach, 1997b). El mecanismo principal es similar al MED excepto que se basa en la compresión de los vapores generados por la evaporación de agua a una presión superior, que permite la reutilización de vapor para el suministro de calor para el proceso de evaporación. La compresión de vapor se puede llevar a cabo mediante el uso de un compresor mecánico (la forma más común), o por la mezcla con pequeñas cantidades de vapor de alta presión (compresión térmica).

El agua de alimentación es precalentada en contra de la salmuera y el producto dejando el sistema. La transferencia de calor por lo general se lleva a cabo en forma de una doble caída de película, la cual es un mecanismo eficaz de transferencia de calor. El calor latente del vapor condensado es utilizado para producir más vapor en el otro lado de la superficie de transferencia de calor, básicamente un proceso de bombeo de calor es por ello que la necesidad principal de energía se ocupa para elevar la presión con el fin de proveer una fuerza motriz debido a la diferencia de temperaturas.

El proceso se lleva a cabo por lo general de una a tres etapas, con lo que la temperatura de operación puede ser elegida para una optimización del proceso. No se requiere el uso de calor externo para el compresor mecánico, de modo que, básicamente, la técnica se basa en el suministro de energía eléctrica. Parte del agua que circula para aumentar la recuperación de agua. Figura 2.8.2.3-1 presenta una vista esquemática de una unidad mecánica CV. La compresión de vapor se considera como el proceso más eficiente de evaporación para la desalinización. La capacidad para funcionar a bajas temperaturas permite utilizar metales como el aluminio, con casi ningún ataque de corrosión.

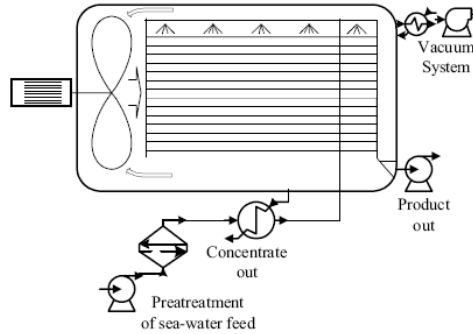
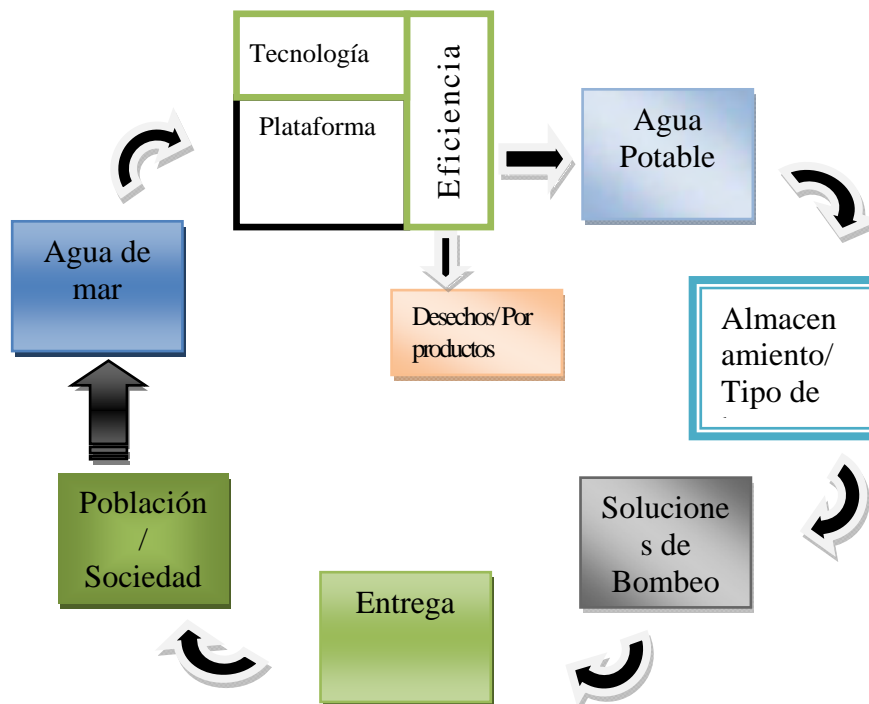


Figura 2.8.2.3-1 Representación esquemática de una tubería horizontal de una planta desaladora por compresión de vapor.

Las plantas mas grandes en el mercado pueden producir hasta 5000 m³/día. El uso de la electricidad hace que la tecnología sea compatible para su uso en paralelo con otras técnicas de desalinización, como operaciones híbridas para la optimización del consumo de energía. Un compresor actual presenta una eficiencia de hasta un 80 por ciento. La calidad del producto es similar a otras técnicas de evaporación. La técnica también puede ser utilizada para la eliminación de la sal que se encuentra en estado de saturación en caso de que se tenga un punto de ebullición bajo.

2.9 Diagrama de flujo del proceso



3. Tabla de innovación del producto

Contexto

- Distribuir agua a las comunidades mas afectadas por la escasez de agua
- Aprovechar la tecnología de desalinización de aguas profundas para incrementar el suministro de agua mundial.
- Mejorar la eficiencia energética y la relación costo-beneficio de una solución de desalinización.

Enfoque

- Primario: Gente en países desarrollados con muy poco acceso al agua potable
- Secundario: Gobiernos, municipios, empresas de servicio publico, Organizaciones no gubernamentales (ONG's), funcionarios de salud, desarrolladores de infraestructura.

Metas/Objetivos

- Desarrollar un análisis de sustentabilidad de las tecnologías actuales de desalación y sus desafíos.
- Diseñar un modelo de negocio sustentable para desalinización, enfocándose en la energía y el transporte.
- Entender a los usuarios finales y crear un mecanismo viable para satisfacer tal necesidad.

Directrices

- La desalinización puede ser una solución efectiva y competitiva para resolver la necesidad de agua actual.
- La escasez de agua se convertirá en un problema incremental, impulsado por el crecimiento de la población, el agotamiento de los mantos acuíferos, y otros factores como el cambio climático.

4. Evaluación preeliminar de las necesidades

Tomando como referencia el estado de Baja California Sur como nuestro mercado potencial preeliminar, y realizando un estudio de mercado que abarco tanto expertos en desalación del instituto de Ingeniería de la UNAM, autoridades de la Comisión Nacional del agua, autoridades del estado de California en Estados Unidos de Norteamérica así como usuarios finales del servicio se logro recabar la siguiente información:

- Todos los suministros de agua en el área de Baja California se encuentran moderadamente contaminadas (73%), o muy contaminadas (23%).
- La mayor parte del agua en el área de Baja California se utiliza para uso de desarrollos turísticos y en menor porcentaje se le da un uso domestico.
- El agua es suministrada por bombeo del río Colorado, también puede ser bombeada de algunos pozos profundos que se han ido agotando por la degradación del terreno.
- El bombeo en algunas zonas tiene un horario.
- Sin un subsidio de por medio el costo por metro cúbico es de \$16.52
- Algunas compañías privadas prestan un servicio de pipas que venden el agua a un costo 5 veces mayor al costo de desalinización.
- Las personas que se encuentran en estas regiones expresan cada vez un deseo mayor de la compra de su propia planta de desalación costa adentro.

5. Nuestro reto:

- o El reto final de la alianza Merelan es lograr conjuntar los conocimientos técnicos y financieros de sus integrantes para desarrollar un servicio de desalinización sustentable y asequible.

Nuestros retos principales son:

- Analizar todas las posibilidades de tecnología de desalinización así como de transporte que se requerirán para el traslado de agua potable.
- Proponer diferentes conceptos y hacer una evaluación de ellos utilizando la metodología del curso.
- Localizar los mercados potenciales así como las zonas donde el rendimiento del ciclo de desalación sea el mayor.

- Reducir la cantidad de CO₂ en todas las etapas de diseño tanto del ciclo de desalación como del transporte.
- Optimizar los recursos tanto materiales como naturales para lograr un equilibrio ambiental y lograr tener un servicio completamente sustentable

6. Mercado potencial

El Modelo Merelan puede tener repercusiones de gran alcance en muchos mercados mundiales que tenga costa y que cuenten con un acceso razonable a agua de mar profunda. Una plataforma de desalinización puede entregar 26 millones de galones de agua por día a aproximadamente 485,075 hogares.

Las regiones objetivo de nuestro producto son aquellas que reúnen las siguientes características:

1. Regiones con una fuerte necesidad de agua
2. Zonas con un gradiente de temperatura óptima de los océanos o zonas que actualmente tengan actividad geotérmica
3. Plataformas petroleras que se puedan decomisar
4. Interés de los municipios en la compra del servicio de agua potable.
5. Otros factores por ejemplo la baja salinidad.

Aunque se ha identificado a México como un mercado potencial, el producto puede ser escalable a otras regiones del planeta que se ajusten a los criterios mencionados anteriormente.

La disponibilidad de herramientas como las imágenes GIS proporcionadas por la NASA serán de gran ayuda para la identificación de las regiones que reúnen las características necesarias y poder crear con estas una estrategia de desarrollo estratégico.



Figura 6.1 Un mercado potencial Mar de Cortés

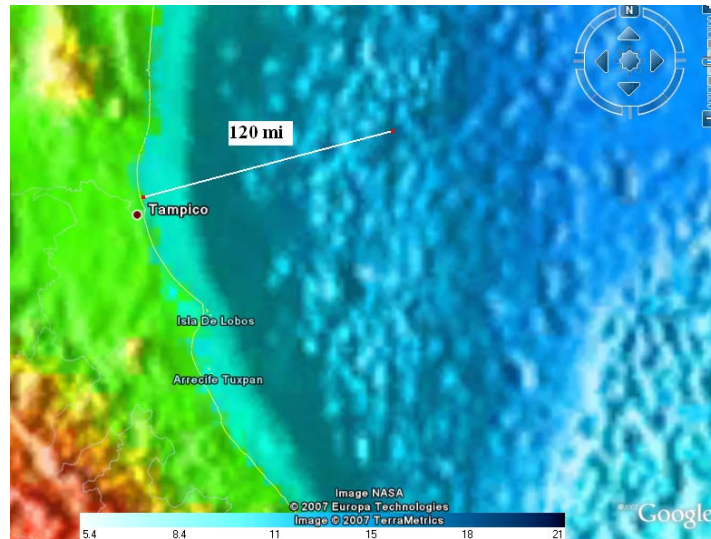


Figura 6.2 Mercado potencial Golfo de México

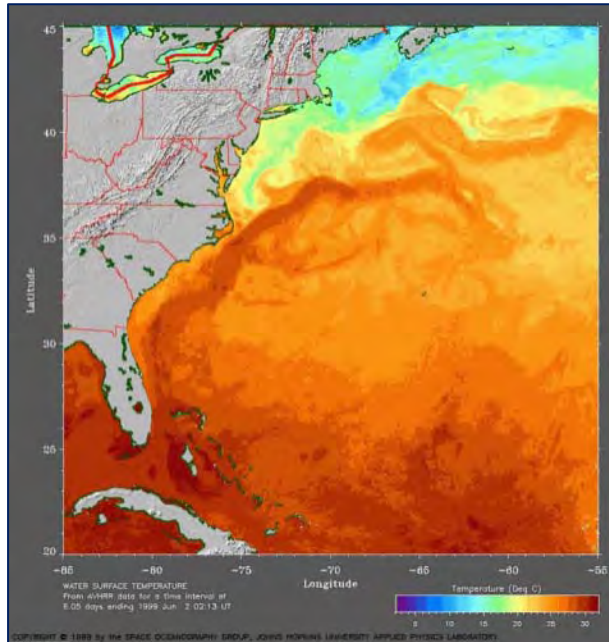


Fig.6.3 Mercado potencial costas de florida

Estamos razonablemente seguros que el decomiso de plataformas petroleras aun no ha sido considerado para fines de desalinización. Para sostener una ventaja competitiva, creemos que es crítico construir ventajas iniciales solicitando a nuestros consumidores clave un acuerdo de ayuda mutua y trabajo así como la realización de las diligencias necesarias para llevar a cabo una curva de experiencia.

Estamos seguros de que el modelo Merelan puede significar una proposición de valor para todas las partes involucradas. Algunos beneficios clave para nuestros clientes potenciales son:

- Los municipios incrementaran la disponibilidad y confiabilidad del suministro.
- El agua potable más limpia y abundante reducirá los costos en materia de salud de los gobiernos.
- Las compañías petroleras pueden mejorar los costos de decomiso para la creación de plataformas de desalación, mejorando su imagen publica generando la posibilidad de flujo de nuevas ideas.
- La alianza Merelan cumple con su misión de resolver la escasez mundial de agua de una manera sustentable, a la vez de lograr aspectos financieros, sociales y de impacto ambiental totalmente positivos. Dejando como trabajo futuro el estudio de los mercados piloto, esperando realizar una re-inversión de una porción de las ganancias para escalar el producto a mercados con necesidades agudas de agua pura.

7. Necesidades de los consumidores

Definimos a nuestros consumidores como “los municipios”, ya que ellos representan el mecanismo más eficiente para distribuir el líquido vital a la mayor cantidad de consumidores.

Se tuvo un proceso de entrevistas con el objetivo de conocer las necesidades de los consumidores, estas fueron desarrolladas a través de Internet haciendo uso de la herramienta survey monkey ofrecida por la Universidad de Berkeley a los alumnos de la clase de desarrollo de productos sustentables, las preguntas fueron enfocadas a la calidad del agua y del suministro, las respuestas arrojaron resultados muy claros en los cuales la alianza enfocara sus mejores esfuerzos para satisfacer y mejorar lo que ahora tienen.

Las principales necesidades son:

- Costo Beneficio/ Asequibilidad
- Fiabilidad en el suministro
- Cantidad de agua
- Calidad del agua
- Nivel de accesibilidad
- Facilidad de distribución
- Aumento en el número de municipios para proveer el servicio.

8. Entendiendo a nuestros usuarios finales

A través de un proceso de investigación que llevo consigo el uso de entrevistas a miembros de nuestro mercado objetivo tales como consumidores, distritos de agua y expertos en desalación se llegaron a entender las necesidades del mercado.

- La mayoría de las personas entrevistadas no están conformes con el agua que llega a sus hogares una de las principales razones que ellos mencionaron es que la tubería se encuentra en malas condiciones y tienes problemas como suciedad, mal olor y un alto nivel de sedimentación. También nos mencionaron que por lo menos cinco veces al año se ven afectados debido a los cortes en el suministro debido al mantenimiento de la red primaria. Estamos conscientes que si logramos introducir nuestro servicio debemos de rechazar el uso del sistema de distribución existente debido a su falta de mantenimiento y a su baja calidad.

Por otra parte la gente esta satisfecha con recibir el agua directo a sus hogares sin la necesidad de caminar largas distancias a los pozos cercanos.

- Aunque las personas se encuentran insatisfechas con el servicio de suministro de agua con el que cuentan actualmente, el precio de subsidio con el que actualmente cuentan los hace caer en una falsa satisfacción. Es por eso que nos debemos enfocar en la manera mas eficiente para distribuir agua potable independientemente del sistema existente y mantener un precio al mercado equivalente al que las personas pagan en estos momentos (Entre \$100 y \$1000 pesos por mes dependiendo del uso). Otro factor del que nos pudimos percatar es que el agua que llega a través de la línea de suministro y se usa para satisfacer casi todas sus necesidades excepto las principales que son el beber y cocinar, el agua pura la compran en garrafones suministrados por embotelladoras privadas.
- Uno de los datos mas importantes que pudimos obtener es que el 92% del total de la gente entrevistada esta dispuesta a beber el agua de un proceso de desalinización. Por otra parte se tuvieron una serie de entrevistas con el Ing. Salvador Espíndola Hernández líder del proyecto Impulsa y nos comento que si la gente no es informada con anterioridad de que el agua que están bebiendo proviene de un proceso de desalinización, no notaran diferencia alguna.

9. Conceptos

De acuerdo al libro de texto que se utilizo en el curso de desarrollo de productos sustentables el término concepto no tiene un significado concreto se debe de comprender primero el proceso de creación:

Forma: Es la creación de algo físico y en el caso de un servicio es la secuencia de pasos por los cuales el servicio será creado.

Tecnología: Esta es la fuente con la cual la forma puede ser creada.

Necesidades y Beneficios: Un producto o servicio tiene valor si y solo si proporciona algún tipo de beneficio a los clientes y que además el cliente lo percibe como una necesidad o como un deseo.

Si concretamos estos términos se obtendría algo como lo siguiente La tecnología nos permite desarrollar configuraciones que nos pueden dar un beneficio.

9.1 Conceptos para resolver la escasez de agua alrededor del mundo haciendo uso del potencial del océano.

Los conceptos que a continuación se presentan tienen el objetivo de aprovechar el enorme potencial de energía que poseen los océanos algunos de ellos no aprovechan el potencial del océano de manera directa pero están relacionados entre sí de tal manera que se pueda crear un concepto de desalinización integral.

9.1.1. Expropiación de una plataforma de perforación para desalación

Tomando en cuenta que el costo de inversión para una planta de desalación de mar profundo llega a ser muy alta, se puede hacer uso del decomiso de una plataforma petrolera que ya no se encuentre en uso, esto puede reducir el costo de inversión inicial y puede a su vez mejorar la eficiencia del proceso de desalación



Figura 9.1.1-1 Expropiación de una plataforma petrolera para uso de una planta de desalinización.

9.1.2. Colector solar para la plataforma de desalinización

Para reducir el consumo de combustible en el evaporador utilizado en el ciclo de desalación, se puede hacer uso de un colector solar que puede ser aprovechado para incrementar la diferencia de temperaturas en el proceso así como su eficiencia y a su vez reducir el nivel de CO₂.

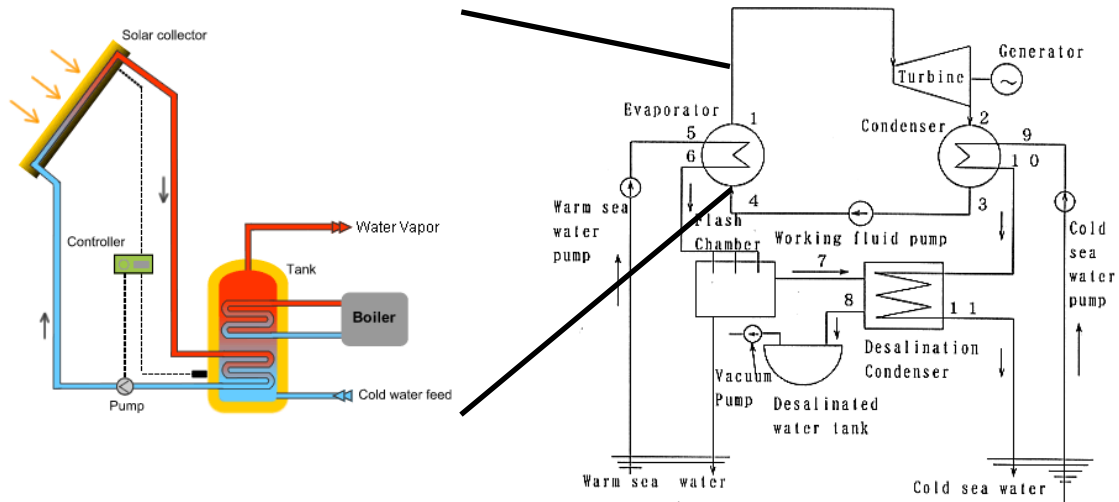


Figura 9.1.2-1 Colector solar aprovechado en el proceso de desalinización

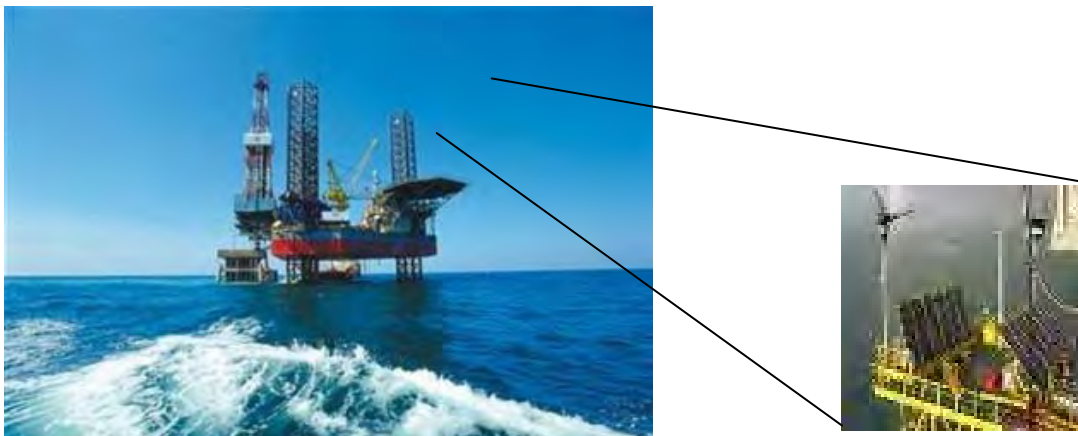


Figura 9.1.2-2 Vista del colector solar

9.1.3 Uso de ventilas hidrotermales en diferentes zonas alrededor del mundo

El instituto de Ingeniería de la UNAM a través del proyecto impulsa ha encontrado ventilas hidrotermales en el golfo de California, el uso que se les da en la desalinización es en el uso del vapor que se puede producir debido a las altas temperaturas que tienen los flujos de agua.

Estas ventilas hidrotermales también se pueden encontrar en diferentes zonas del mundo como se muestra en la figura 9.1.3-1

Locations of Hydrothermal Vent Sites
Along Mid Ocean Ridges

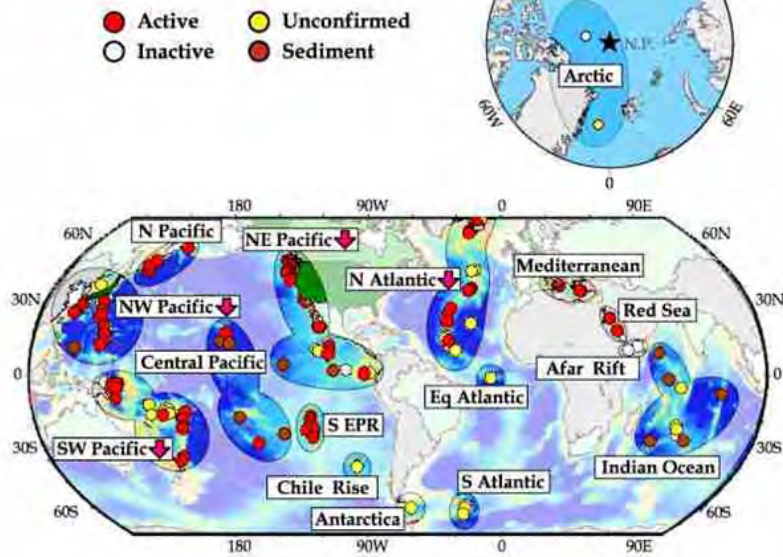


Figura 9.1.4-1 Localización de las ventilas hidrotermales alrededor del mundo

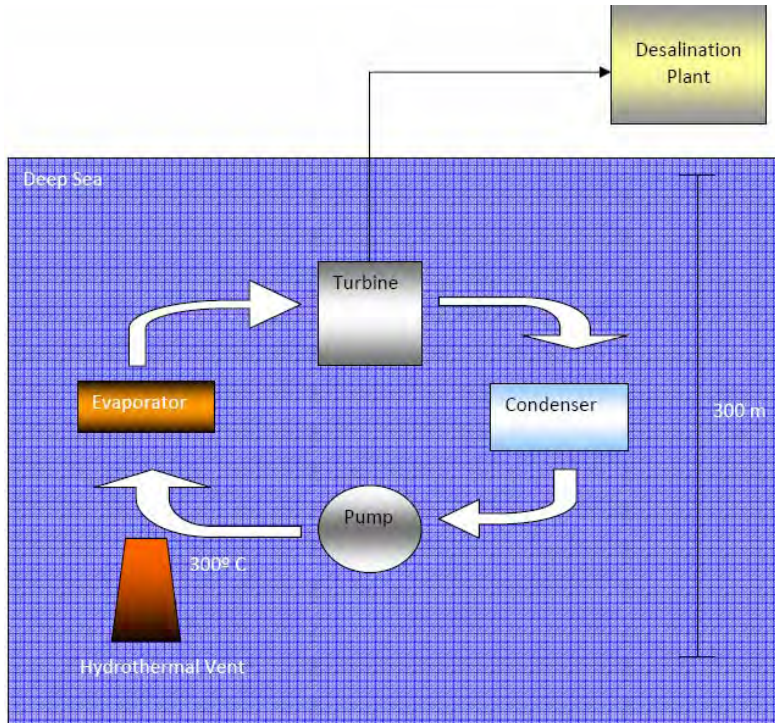


Figura 9.1.3-2 Ciclo Rankine haciendo uso de una ventila hidrotermal

9.1.4 Aprovechamiento de las corrientes de alta velocidad dentro del golfo de California, entre las islas y el continente.

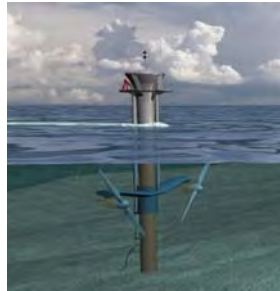


Figura 9.1.4-1 Concepto de aprovechamiento de las corrientes marinas

9.1.5 Distribución de poder del uso de OTEC

Se considera importante la posibilidad de que la tecnología OTEC puede producir demasiada energía, si se aprovecha este poder se podrá construir una planta con un alto índice de eficiencia la energía que no se aproveche para desalación puede ser utilizada en otros aspectos de la planta.

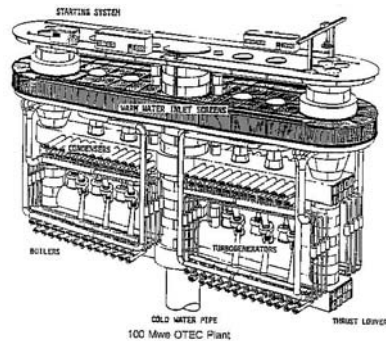


Figura 9.1.5-1 Distribución de la energía producida por la tecnología OTEC

9.1.6 Uso de agua fría tomada del fondo marino para su uso en el sistema de aire acondicionado.

El uso de agua fría como un líquido refrigerante en los sistemas de aire acondicionado puede tener un potencial económico enorme. Por ejemplo para producir 5800 toneladas (equivalente a 5800 cuartos de hotel) de aire acondicionado se utiliza solo un gasto de 1 m³/s, el agua debe estar a por lo menos 7° C, el trabajo de bombeo requerido es de solo 360 kW en comparación con los 5000 kW que se utilizan en un sistema de aire acondicionado convencional.

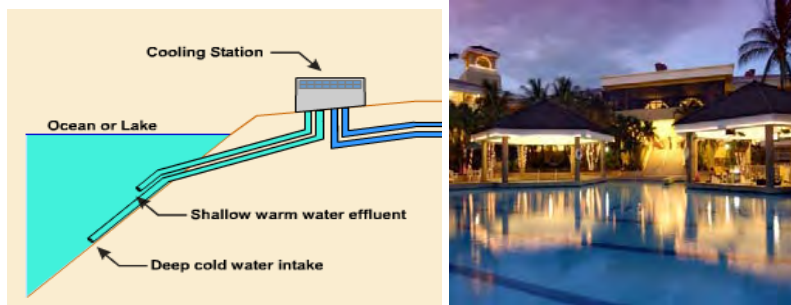


Figura 9.1.6-1 Uso de agua fría tomada del fondo marino para uso de aire acondicionado

9.1.7 Aerogenerador de aire

Uso de energía renovable para alimentar de energía eléctrica nuestro equipo. Podemos utilizar un generador de aire que no requiere demasiado viento para funcionar. En el mercado se encuentra disponible el generador Pacwind.

Con el uso de energía renovable, podemos bombear agua del océano con la confianza de no dañar el planeta



Fig. 9.1.7-1 Aerogenerador eólico para la alimentación secundaria de la planta de desalación

9.2 Conceptos enfocados en la distribución del agua.

9.2.1 Buque tanque con capacidad de almacenar agua pura y sal.

Debido a que las altas concentraciones de sal pueden dañar el ecosistema marino, una parte de la sal que se obtiene como producto del proceso de desalación puede ser transportada a tierra junto con el agua fresca también producto del proceso de

desalación. Esta sal puede ser utilizada como materia prima para materiales de construcción así como productos industriales este proyecto hace uso de tecnologías sustentables.

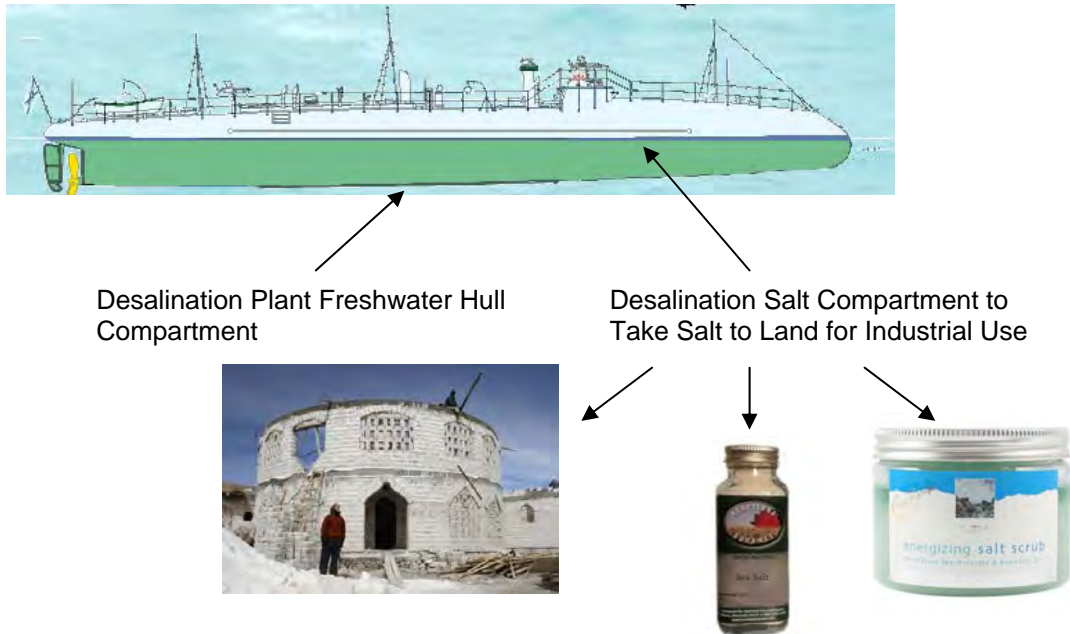
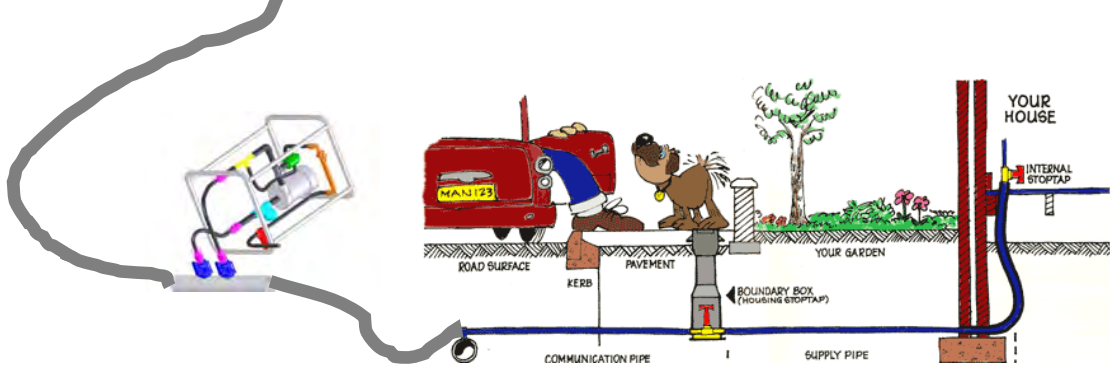


Figura 9.2.1 Concepto de buque tanque con capacidad de almacenar agua pura y sal

9.2.2 Ruteador de agua

Dado que el 70% del agua es utilizada para riego en una gran cantidad de municipios ¿Podríamos pensar en desarrollar un “ruteador de agua” que pueda ser conectado a la línea principal de distribución para eficientar la distribución basándonos en los niveles de calidad del agua?

Se trata de un sistema que detecte y enrute el agua basado en el nivel de impurezas; posiblemente pueda tener múltiples conexiones del centro de distribución al punto de destino, con el grado mas algo de calidad para uso domestico.



9.2.2-1 Ruteador de agua basado en la calidad del líquido.

9.2.3 Distribuidor del agua producto de la desalación.

Este sistema se enfoca en la distribución del producto derivado de la desalación a un tanque de pre-tratamiento, con este sistema se reducen los tiempos de entrega de una manera innovadora.

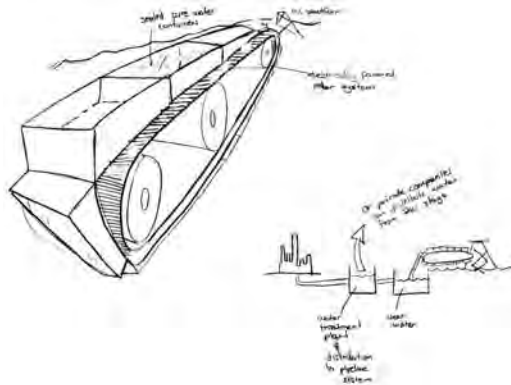


Figura 9.2.3-1 Concepto de distribución del agua desalada

9.2.4 Camión distribuidor de botellones de agua

Muchas áreas rurales en países desarrollados tienen un sistema de entrega de agua debido a la falta de infraestructura para distribución de agua pura. Planeo realizar un sistema de distribución usando un camión que distribuya garrafones de agua llenos y recolecte los vacíos.

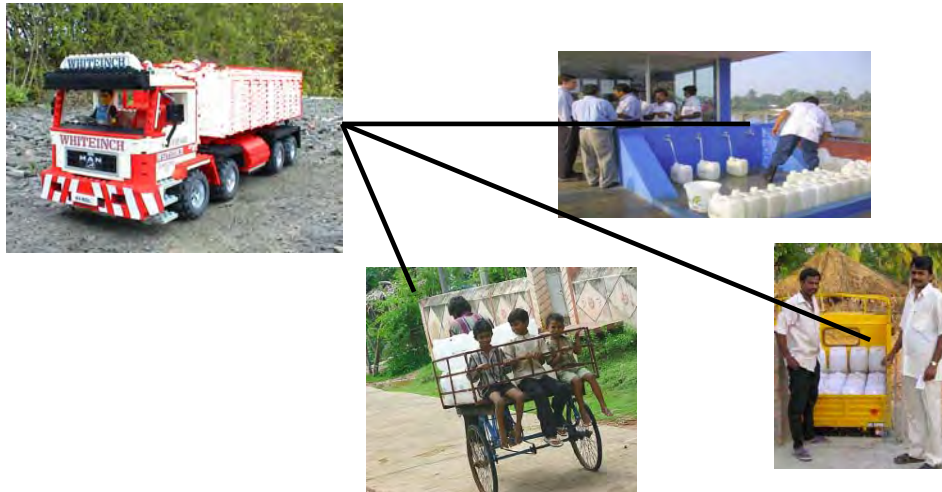


Figura 9.2.4-1 Sistema de distribución a clientes finales

9.3 Conceptos enfocados en la resolución del problema de escasez de agua de forma general.

9.3.1. Purificador de agua

Existe un alarmante 18% de la población mundial que no tiene acceso al agua potable, En la región del Sahara en África el 42% de la población vive sin un acceso directo al agua pura. El grupo Vestergaard Frandsen ha desarrollado un purificador llamado LifeStraw®. El dispositivo es un tubo plástico que cuenta con siete filtros que son capaces de eliminar el 99% de los parásitos y bacterias del agua contaminada.



Figura 9.3.1-1 Uso del purificador de agua en regiones de África

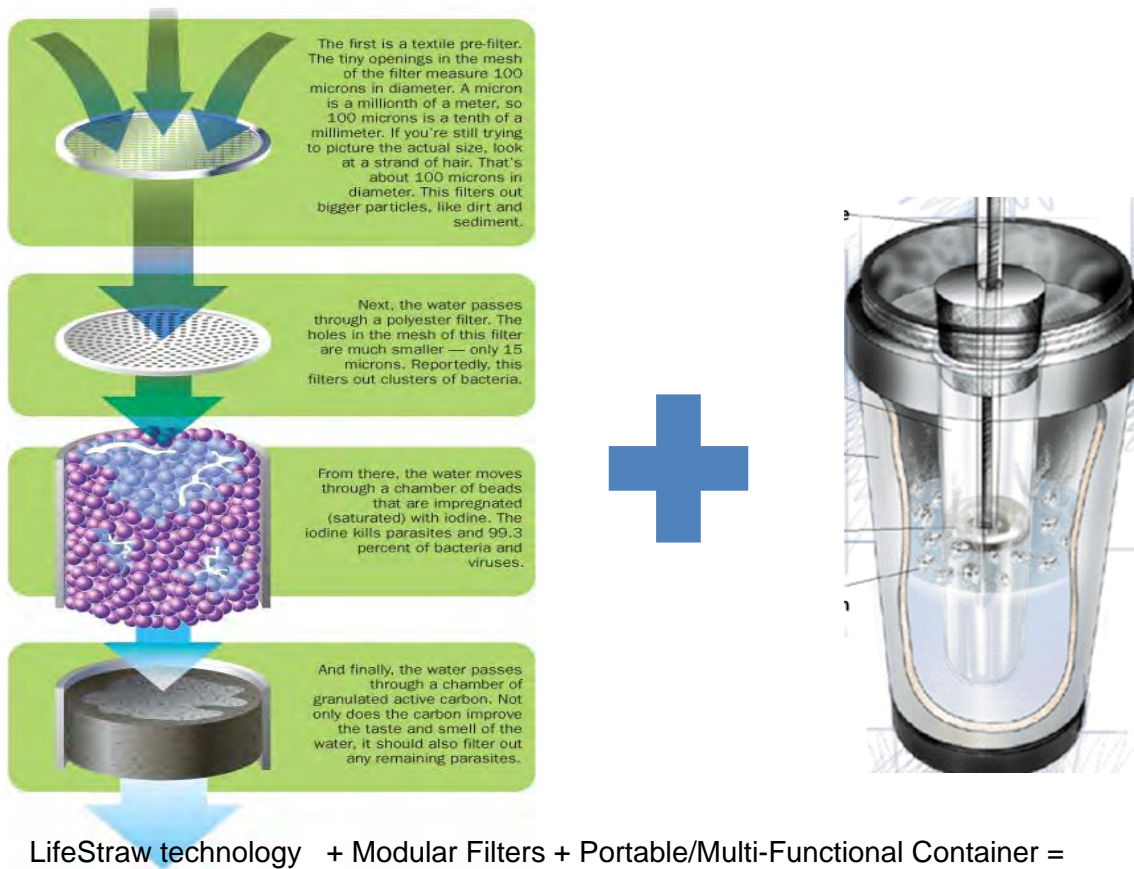


Figura 9.3.1-2 Diagrama de funcionamiento LifeStraw®.

9.3.2 Sistema de almacenamiento de agua de deshielo.

En áreas como California la mayor parte de las lluvias ocurren en el invierno, mientras que en verano la temperatura es árida. Durante el invierno la precipitación en las montañas es almacenada como nieve que se llega a derretir en los meses calurosos. Las reservas tienen una capacidad de almacenaje muy bajo por lo que el desperdicio es demasiado y desemboca al océano.

A causa del cambio climático la temperatura se ha incrementado notablemente, es por ello que la mayor parte de la precipitación será como agua de deshielo en lugar de nieve.

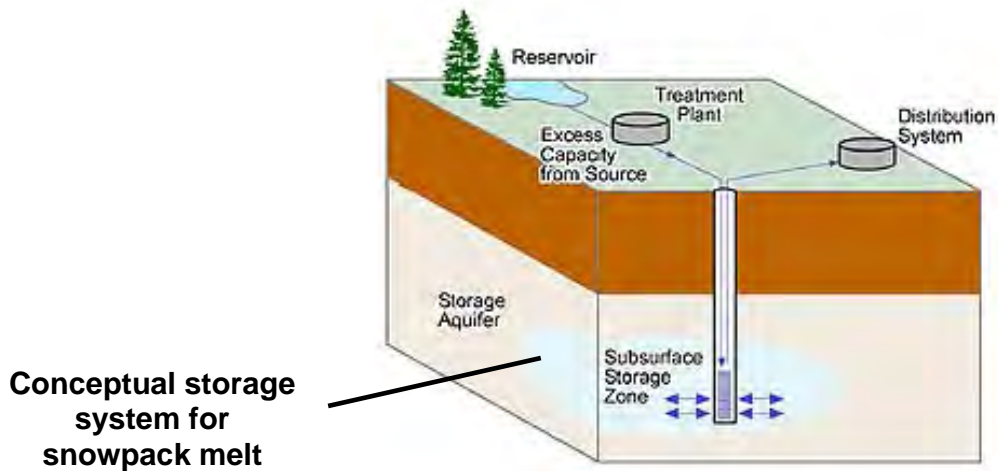


Figura 9.3.2-1 Sistema de almacenamiento de agua de deshielo

9.3.3 Técnica de perforación

En países en desarrollo como México la necesidad de inversión para la perforación de pozos y la construcción de un sistema de línea han ocasionado una restricción en la construcción de sistemas de agua a gran escala en zonas rurales.

Nuevas técnicas pueden ser desarrolladas para hacer este método más asequible. La empresa Wolfgang Buchner ha encontrado el uso de métodos de perforación para condiciones locales usando materiales no corrosivos como el Polietileno y el PVC. Los pozos tienen una profundidad aproximada de 90 metros y pueden ser barrenados en 3 o 4 días sin el uso de maquinas de excavación complejas sino utilizando únicamente maquinas simples y mano de obra.

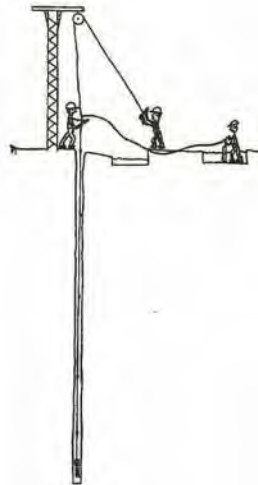


Figura 9.3.3-1 Técnica de perforación simple



Figura 9.3.3-2 Mano de obra y maquinas simples para perforación

9.3.4 Colector de agua de lluvia

Colectar de agua del techo en los hogares para su distribución por tubería a un filtro para finalmente almacenar en un tanque de cemento.

Utilizando un método simple de cemento y acero se pueden construir tanques con capacidades de almacenamiento de 1000 litros. Un tanque de 200 litros tiene un peso aproximado de 120 kilogramos y requiere alrededor de 50 kilogramos de cemento, 3 sacos de arena, 1 kilogramo de varillas de acero y 4 metros de acero para construcción. Estos pequeños tanques de almacenamiento pueden utilizarse no solo para la colección de agua de lluvia también tienen un uso en cualquier proceso de almacenamiento donde se necesite un tanque como es el caso de una planta de desalinización.

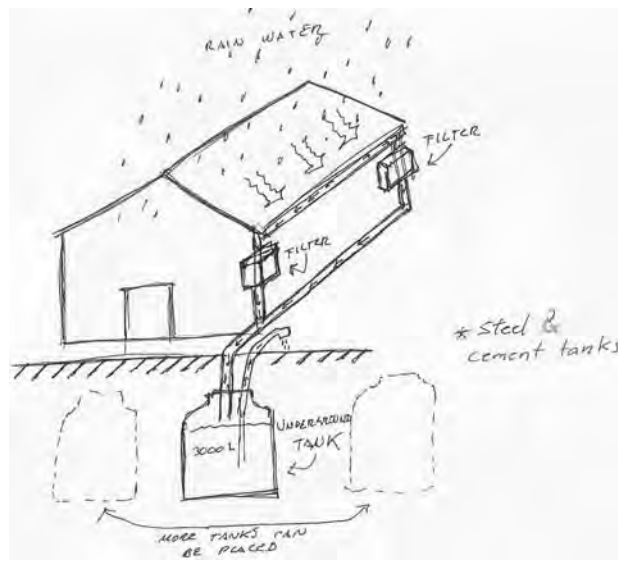







Figura .9.3.4-1 Recolección de agua de lluvia utilizando un tanque de cemento

10. Selección de conceptos

La selección de conceptos es un proceso comúnmente informal y que tiene una aceptación alta en la mayor parte de las organizaciones, el proceso de selección se puede realizar utilizando una selección de matrices. Los métodos formales recaen en todos los criterios de selección los cuales deben incluir necesariamente los imperativos así como otros criterios internos (por ejemplo la manufacturabilidad, el servicio, el costo) y después dar una ponderación sobre esos criterios a cada uno de los conceptos. A pesar de parecer un proceso tedioso, este método conlleva a serias conversaciones entre los miembros del equipo de innovación dando oportunidad a la mejora de los conceptos y de los criterios mismos.

		Concept Variants						
		Weight	Water Purifier	Snowpack Melt Storage System	Rainwater Harvesting	Groundwater Pumping	Deep Sea Desalination	
Scale: 1 (poor) to 5 (excellent)								
Evaluation Criteria	Stakeholders	Cost-Effectiveness/Affordability	15%	5	2	5	3	4
		Reliability of Supply	10%	1	2	1	2	5
		Quantity of Water	8%	1	2	1	1	5
		Quality of Water (Meet Health Standards)	8%	2	5	2	4	5
		Level of Accessibility (for Municipalities/Users)	8%	3	3	2	2	3
		Ease of Distribution	7%	1	4	2	4	3
		Number of Serviceable Regions	4%	1	4	2	3	4
	Environment	Energy Intensity of Production/Distribution	7%	5	3	4	3	2
		Carbon Footprint Over Life Cycle	7%	5	3	5	2	2
		Impact on Habitats and Biodiversity	4%	5	4	5	1	2
	Business	Impact on Public Health and Safety	2%	3	4	3	4	4
		Technical Feasibility	5%	5	3	5	3	3
		Cost of Capital (Set-Up)	5%	5	2	4	3	1
		Service & Support Costs (On-Going)	3%	5	3	4	3	3
Return on Investment		3%	5	3	5	3	4	
Regulatory Feasibility	2%	4	4	5	3	2		
Ability to Sustain Competitive Advantage	2%	2	3	2	1	4		
TOTAL			3.32	2.97	3.22	2.64	3.48	
RANK			2	4	3	5	1	

60%	Stakeholders
20%	Environment
20%	Business
100%	

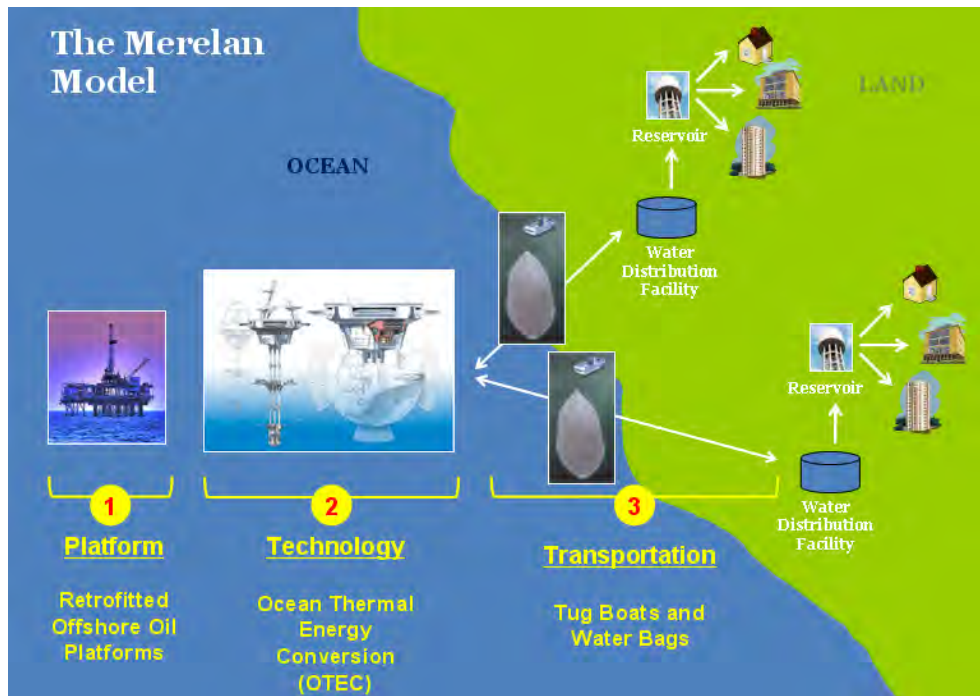
11. Variables del proyecto

En el desarrollo del proyecto de desalinización de mar profundo se tiene que hacer un análisis de las diferentes variables las cuales tienen que ser resueltas para que al conjuntarlas se pueda tener como resultado un servicio sustentable, asequible y escalable a cualquier región del mundo que cuente con las características mencionadas en el capítulo 6 (Mercado Potencial).

El análisis de las variables tiene que ser desarrollado de manera cuantitativa así como de manera cualitativa con el fin de llegar a un acuerdo mutuo que convenga a todas las partes envueltas los miembros de la alianza Merelan tienen el compromiso de obtener los mejores resultados para poder llegar al punto de evaluación de una manera integral pero con un criterio para llevar a cabo los cambios necesarios de mejora del servicio.

Las principales variables del proyecto se pueden dividir en tres:

1. Plataforma de desalación
2. Tecnología de desalación
3. Transporte



Esquema 11.1 Principales variables del proyecto

11.1 Plataforma

Una plataforma petrolera es una estructura que se usa para el resguardo de trabajadores y maquinaria que extraen crudo o gas natural en los pozos que se encuentran en el océano.

Dependiendo de las características del lecho marino y de las circunstancias las plataformas pueden ser fijas o flotantes.

Existen aproximadamente 6500 plataformas petroleras alrededor del mundo con un costo aproximado de remoción entre 35 y 40 billones de dólares. Del total de plataformas aproximadamente 3800 se encuentran en el Golfo de México, 27 en la costa este de los Estados Unidos de America y 475 en Europa. Aproximadamente 315 yacimientos petroleros costa afuera operan en aguas internacionales⁴. El costo de remoción de una plataforma en el Golfo de México, esta estimado en 1.5 billones de dólares⁵. La profundidad a la cual se encuentran estas estructuras tiene un rango máximo de 1500 pies para plataformas fijas y hasta 3000 pies para una estructura en forma de torre. Una de las plataformas potenciales se encuentra en aguas profundas en la costa federal del Golfo en los Estados Unidos, esta anclada a una profundidad de 1,754 pies a 130 millas del sureste de Nuevo Orleans y es operada por Texaco⁶, si se toma en cuenta que todas estas plataformas requerirán en un futuro de un plan para su reuso, remoción o post-desarrollo eso nos da una clara oportunidad para una futura inversión la cual redituara de forma importante en nuestra factibilidad.

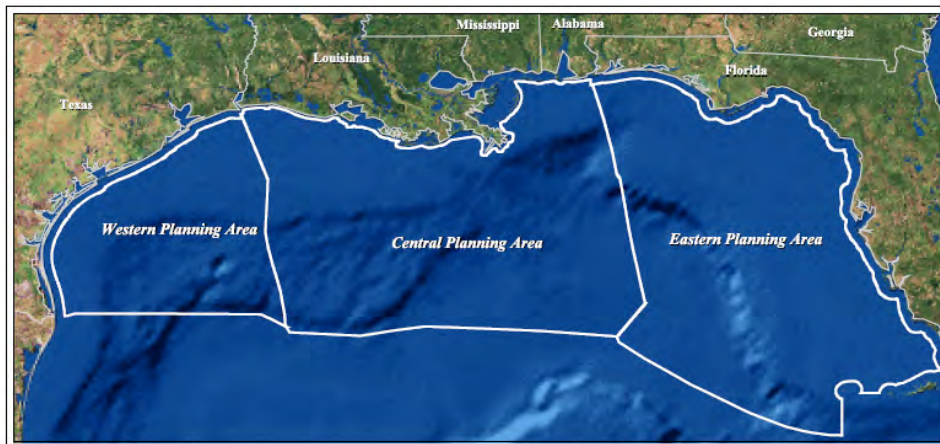


Figura 11.1-1 Costas Americanas del Golfo de México

⁴ Gulf Publishing Company, Enero 1999.

⁵ Kasprzak, 1998; Manago&Williamson, 1997

⁶ Will & Simon, August 1998

Tabla 11.1-1 Profundidad de explotación de crudo en costas americanas

Prospect	Operator	Area/Block	Water Depth* (ft)
Gotcha	TOTAL E&P USA	Alaminos Canyon 856	7,600
Mission Deep	Anadarko	Green Canyon 955	7,300
Kaskida	BP	Keathley Canyon 292	5,860
Thunder Bird	Murphy	Mississippi Canyon 819	5,673
Caesar	Anadarko	Green Canyon 683	4,457
Friesian	Shell	Green Canyon 599	3,800
Claymore	Anadarko	Atwater Valley 140	3,700
Pony	Hess Corporation	Green Canyon 468	3,440
Raton	Noble Energy	Mississippi Canyon 248	3,400
Redrock	Noble Energy	Mississippi Canyon 204	3,334
Ringo	Nexen	Mississippi Canyon 546	2,500
Longhorn North	Eni	Mississippi Canyon 502	2,330

* Water depths are approximate.

11.1-1 Plataforma flotante

11.1-1.1 Tipo Sumergibles FPSO

A este tipo de plataformas se les denomina FPSO por sus siglas en ingles, pueden procesar y almacenar el crudo así como descargar petróleo y gas. Una planta de procesamiento es instalada en el cuerpo del barco para separar y tratar el fluido de los pozos después de que el crudo es separado del agua y del gas para su almacenamiento en tanques que posteriormente son descargados en buques.

Estos buques descargan en la costa el crudo mientras el gas es enviado a través de tuberías. Este tipo de plataformas tienen una capacidad de producción de 200,000

barriles diarios con una producción de gas asociado de alrededor de dos millones de metros cúbicos al día.⁷



Figura 11.1-1.1-1 Unidad flotante de producción almacenamiento y descarga y YUum K'Ak'nÁab PEMEX

11.1-1.2 Plataformas Sumergibles FPSO de estructura redonda.

Este tipo de plataforma produce en aguas profundas (entre 1000 y 1500 metros). La forma redonda incrementa su estabilidad y permite las operaciones bajo condiciones ambientales más severas.



Figura 11.1-1.2-1 Plataforma sumergible de estructura redonda Petrobras

11.1-1.3 Plataforma semi-sumergible.

Este tipo de plataformas consiste en una estructura de uno o más cuerpos soportados en apoyos sumergidos. Estos apoyos tienen un movimiento debido a la acción de las olas y del viento que puede causar un daño en el equipo es por ello que la estructura

⁷ http://www2.petrobras.com.br/Petrobras/ingles/plataforma/pla_tipo_plataforma.ht

debe fijarse, dos sistemas son los responsables de colocar a punto estos apoyos estos son el sistema de anclaje y el sistema de posicionamiento dinámico.

El sistema de anclaje se compone de 8 a 12 anclas y cables que actúan como resortes que reaccionan al movimiento de las olas.

En el sistema de posicionamiento dinámico no existe una conexión física entre la plataforma y el fondo marino, es solo la relación que existe entre el equipo de perforación y la plataforma.



Figura 11.1-1.3-1 Plataforma semi sumergible Thunder Horse British Petroleum

11.1-2 Plataforma fija

Una plataforma fija es un tipo de plataforma costa afuera que se usa para la producción de crudo o gas. Estas plataformas son construidas usando como material concreto y/o acero ancladas en el lecho marino, estas plataformas están diseñadas para tener una vida útil larga las plataformas fijas son económicamente accesibles para una instalación que tenga una profundidad máxima de 1700 pies(520 metros).

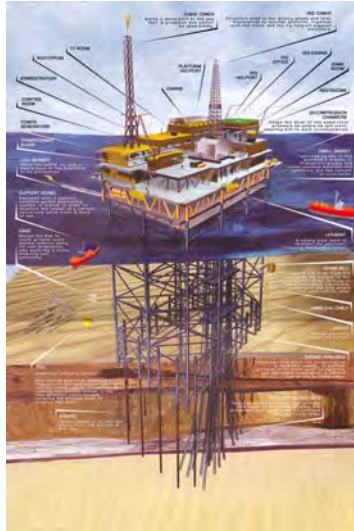


Figura 11.1-2-1 Plataforma fija

11.2 Tecnología de desalación OTEC

La Conversión de la Energía Térmica Oceánica OTEC (por sus siglas en inglés) es una tecnología diseñada para generar electricidad; donde se aprovecha la diferencia de temperaturas existentes entre la superficie oceánica y el fondo marino en una maquina térmica. La eficiencia de esta maquina térmica esta dada por el gradiente de temperaturas; este gradiente normalmente es inversamente proporcional a la latitud por ejemplo en zonas cercanas al ecuador y en los trópicos este gradiente es mayor.

El reto técnico mas significativo para esta tecnología es el de generar cantidades significativas de energía de una manera eficiente.⁸

El aprovechamiento de los gradientes térmicos de las aguas oceánicas se lleva a cabo en plantas maremotérmicas o plantas OTEC. En estas plantas se transforma la energía térmica en energía eléctrica utilizando un ciclo termodinámico denominado “*ciclo Rankine*”, en honor del ingeniero y físico británico William John Macquorn Rankine (1820-1872). En este ciclo se emplea calor para evaporar un líquido, que posteriormente se utiliza en el accionamiento de una turbina, la cual se acopla a un generador eléctrico para producir energía eléctrica.

El rendimiento termodinámico de una central maremotérmica o central OTEC es bastante bajo, si se compara con el de una central térmica convencional.

⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_thermal_energy_conversion

Si T_2 y T_1 son las temperaturas en grados centígrados del agua caliente y fría, respectivamente, el rendimiento teórico máximo obtenible en el ciclo se obtiene de la expresión siguiente:

$$\mu = (T_2 - T_1) / (T_2 + 273)$$

En el supuesto de utilizar un emplazamiento de condiciones muy favorables ($T_2= 30^\circ\text{C}$ y $T_1=4^\circ\text{C}$), se obtiene un rendimiento μ , en porcentaje, de solo el 8,6%. Los rendimientos globales de estas instalaciones serán apreciablemente más bajos, no solo porque en general los gradientes térmicos suelen ser inferiores al considerado, sino por que hay que incluir los rendimientos de los distintos componentes de la instalación (evaporadores, condensadores, bombas, turbinas, generadores, etc.)⁹

Existen básicamente tres tipos de sistemas para el aprovechamiento de esta fuente de energía:

- Sistemas de ciclo abierto.
- Sistemas de ciclo cerrado.
- Sistemas de ciclo híbrido.

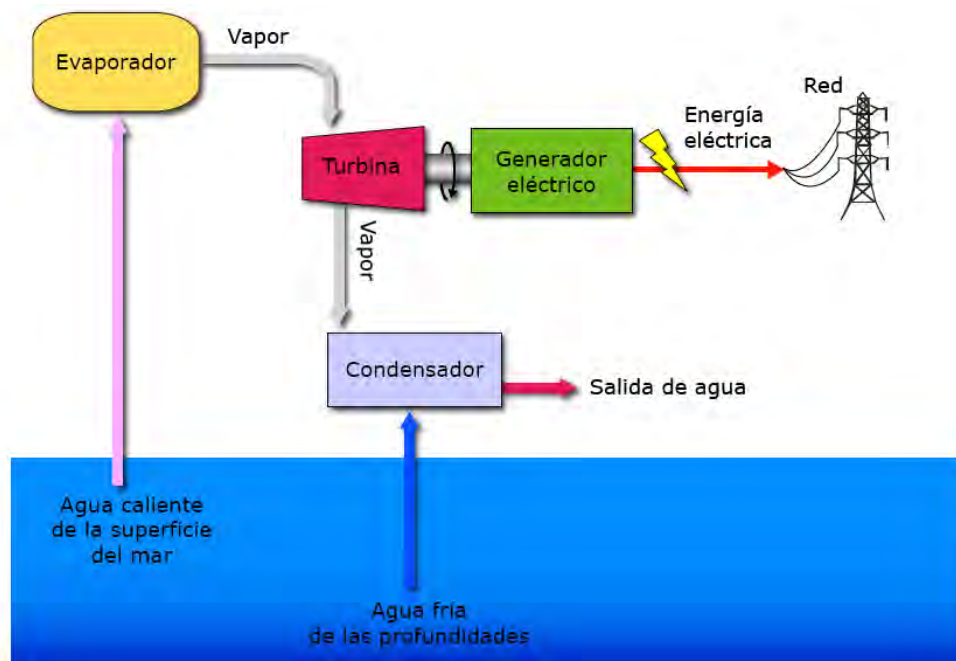


Figura 11.2-1 Representación conceptual de una planta OTEC

⁹ Tomado en comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo24.pdf

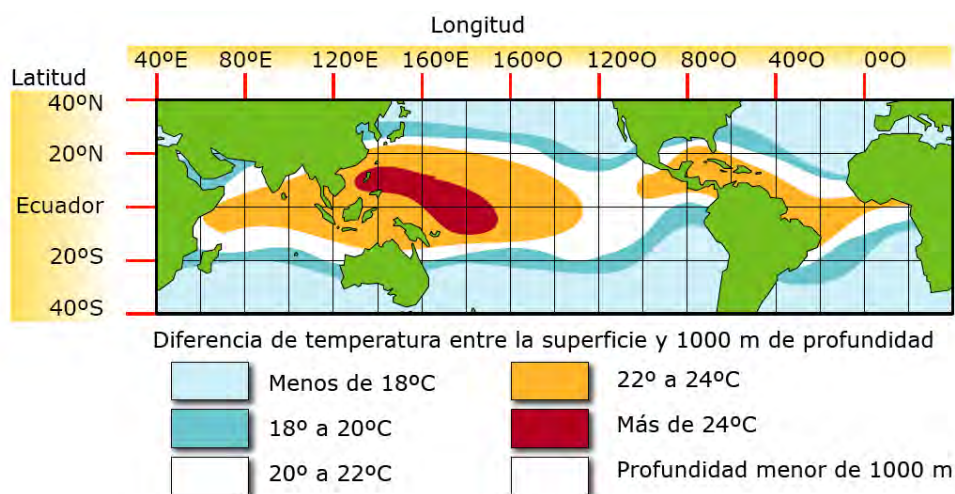


Figura 11.2-2 Gradientes térmicos en diferentes zonas del mundo esquema ideal para puesta en marcha de una planta OTEC

11.2.1 Ciclo Abierto

En el sistema de ciclo abierto, denominado también ciclo de Claude, se usa el agua caliente de la superficie del océano como fluido de trabajo para accionar la turbina. El agua caliente se evapora súbitamente en un evaporador en el que previamente se ha extraído el aire, con una bomba de vacío. Al disminuir la presión en el evaporador por falta de aire, también disminuye la temperatura de ebullición del agua de mar, por lo que ésta hierve a la temperatura en que se encuentra en la superficie del mar. En el evaporador se obtiene una mezcla de vapor y agua líquida a la presión de saturación correspondiente a la temperatura del agua (0,0356 bares para una temperatura del agua de mar de 27°C). El vapor separado del agua líquida pasa a través de una turbina de expansión, accionándola, y se dirige a un condensador, en el que se obtiene de nuevo agua líquida saturada a una presión y temperatura aproximadas de 0,017 bares y 15°C, respectivamente.

El condensador, de los denominados de contacto directo, utiliza el agua fría del mar como fluido refrigerante. El agua líquida procedente del evaporador y del condensador se retorna al mar (Figura 11.2.1.1-1). El proceso se repite con continuos suministros de agua caliente y fría.

Además de los dispositivos mencionados, una instalación de este tipo requiere de equipos para eliminar los gases disueltos en el agua del mar, los cuales no son condensables.

Las súbitas evaporaciones en las válvulas de un evaporador dan lugar a que gotas de agua de mar pasen al vapor. Si no son eliminadas, estas gotas pueden causar erosión y grietas en las palas de las turbinas.

Haciendo pasar el vapor a través de eliminadores de neblina comerciales, típicos de muchos procesos industriales, se puede eliminar una cantidad suficiente de estas gotas de agua.

El rendimiento de este sistema es muy bajo, sobre un 7%. Ello se debe a la baja temperatura del foco caliente y la poca diferencia de temperatura entre el foco frío y caliente. Además, es preciso consumir energía para bombear el agua fría de las profundidades del mar para condensar el vapor y para accionar la bomba de vacío del evaporador. Se estima que entre un 20% a un 30% de la potencia eléctrica generada se consume en las operaciones de bombeo.

Además, hay que señalar que las bajas presiones del vapor de trabajo implica la necesidad de diseñar turbinas específicas, de gran tamaño, lo que dificulta el desarrollo de este tipo de sistemas.

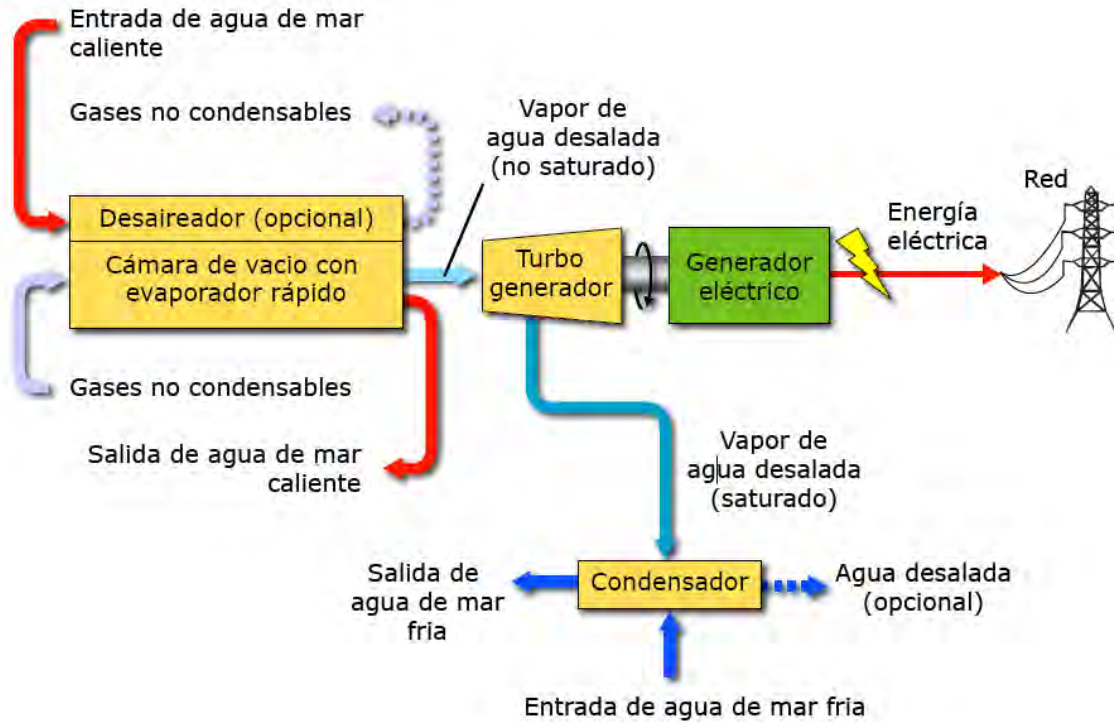


Figura 11.2-.1.1 Representación Ciclo Otec abierto

11.2.2 Ciclo cerrado

En el sistema de ciclo cerrado, denominado también ciclo de Anderson, el calor se transfiere desde el agua caliente procedente de la superficie del mar a un fluido de trabajo de bajo punto de ebullición (tales como el propano, freón o el amoníaco) para evaporarlo a presiones más adecuadas (aproximadamente a 10 bares). El vapor expandido se dirige a una turbina acoplada al generador que produce electricidad. El agua fría del mar pasa a través de un condensador que contiene el fluido de trabajo vaporizado transformándolo en líquido, que es reciclado a través del sistema (Figura 11.2.-2.1).

Los sistemas de ciclo cerrado presentan la ventaja, respecto a los sistemas de ciclo abierto, de necesitar turbinas más pequeñas. Ello se debe a que la presión y el volumen específico del fluido de trabajo son más elevados. Sin embargo, hay que señalar que las superficies de transferencia de calor en el evaporador y el condensador son más grandes debido al bajo rendimiento del sistema.

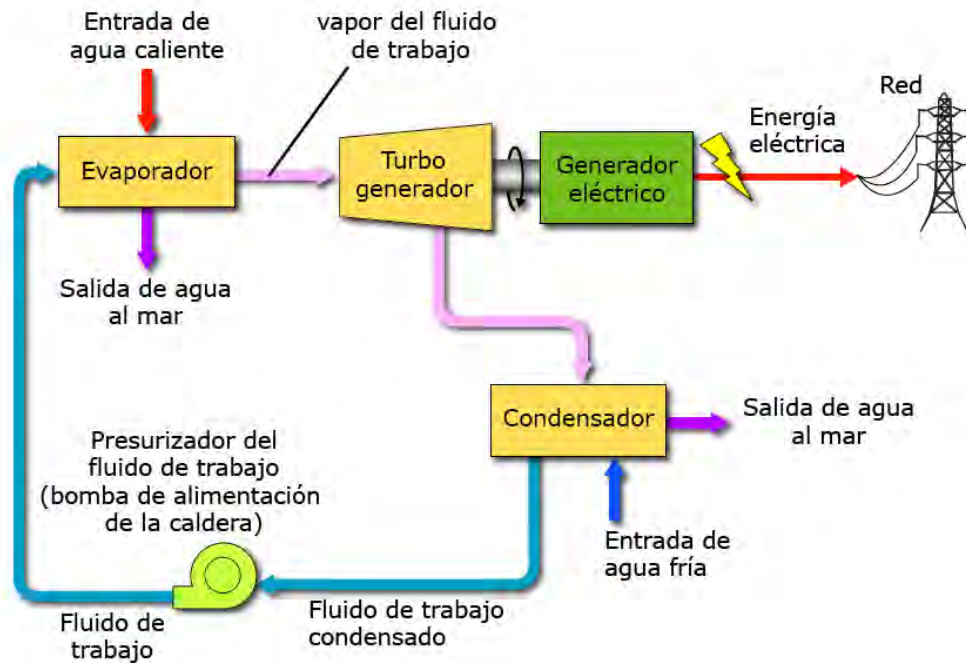


Figura 11.2-2.1 Representación ciclo Otecc cerrado

11.2.3 Ciclo Híbrido

Los sistemas híbridos combinan las características de los sistemas de ciclo abierto y de ciclo cerrado como medio de optimizar su funcionamiento.

Con estos sistemas híbridos se persigue la producción de electricidad y la desalinización de agua de mar.

En un sistema híbrido (Figura 24.9), el agua caliente del mar entra en un evaporador donde es súbitamente evaporada, de forma similar a lo que ocurre en un proceso de evaporación de ciclo abierto. El calor del vapor obtenido se utiliza para vaporizar el fluido de trabajo, de bajo punto de ebullición que circula en un ciclo cerrado. El fluido vaporizado acciona una turbina que produce electricidad. El vapor obtenido del agua de mar se condensa dentro de intercambiador de calor proporcionando agua desalinizada, que puede ser utilizada para consumo humano, agrícola etc.

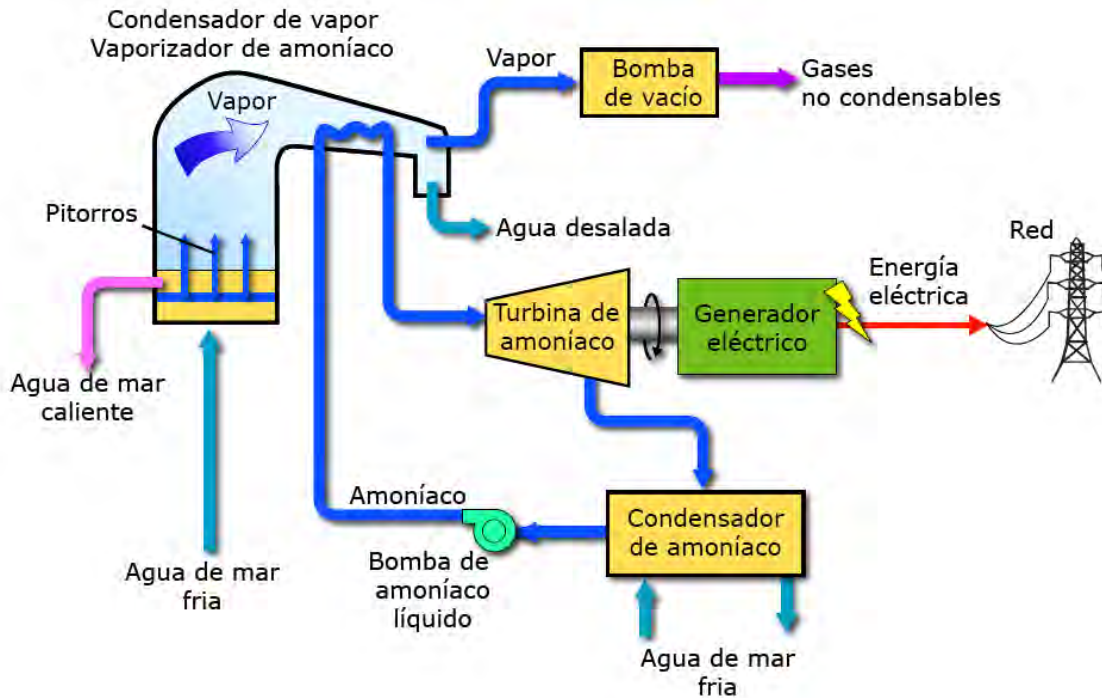


Figura 11.2.1.3-1 Representación ciclo OTEC Híbrido

11.3 Transporte

11.3.1 Bolsas de agua

Existe una alternativa innovadora para el transporte de agua dulce desde una plataforma de desalación a tierra, es el uso de bolsas gigantes; estas bolsas pueden ser fácilmente transportadas en barcos remolcadores; el principio de funcionamiento es muy simple, el agua dulce es mas liviano que el agua de mar por lo cual la bolsa puede flotar sobre la superficie, haciendo mas eficiente el arrastre.¹⁰



¹⁰ <http://www.alshindagah.com/janf>

Figura 11.3.1-1 Llenado en plataforma de la bolsa

Las características de las bolsas pueden variar de acuerdo a las necesidades de cada región pero tienen una capacidad nominal de 36 millones de litros.¹¹

Tabla 11.3.1-1 Características de una bolsa para transporte de agua

Unidades	Sistema Ingles	Sistema metrico
Longitud	650 pies	200 m
Ancho	100 pies	33 m
Profundidad	22 pies	7 m
Volumen	1,225,000 pies cúbicos	35,000 m ³
Capacidad	9,200,000 galones	35,000,000 litros
Peso	38,000 Toneladas cortas	35,000 Toneladas métricas

12. Ejemplo de puesta en marcha planta Merelan en el Golfo de México

La puesta en marcha de la planta Merelan en el Golfo de México es un ejemplo de lo que este trabajo propone y que como se ha venido comentando a lo largo de este, el tipo de planta OTEC es escalable a cualquier lugar del océano que cuente con las características necesarias para que el proyecto sea redituable; en este caso la localización de la planta se hizo a través de imágenes satelitales donde se muestra la batimetría y los gradientes de temperatura que se pueden encontrar en el Golfo de México, decidimos que la mejor localización para esta planta es a 120 millas del puerto de Tampico donde se pueden hacer uso de la plataformas existentes de acuerdo a la propuesta de expropiación de alguna de ellas.

¹¹ <http://www.albionnation.org/A-GUA%20Statistics.html>

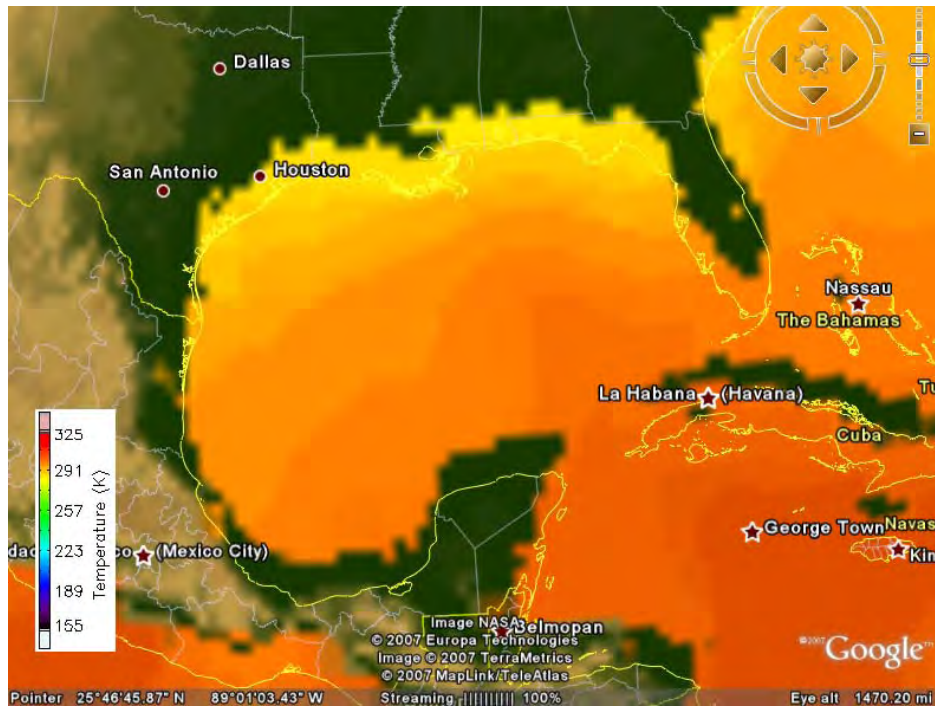


Figura 12-1 Gradiente de temperaturas del Golfo de México

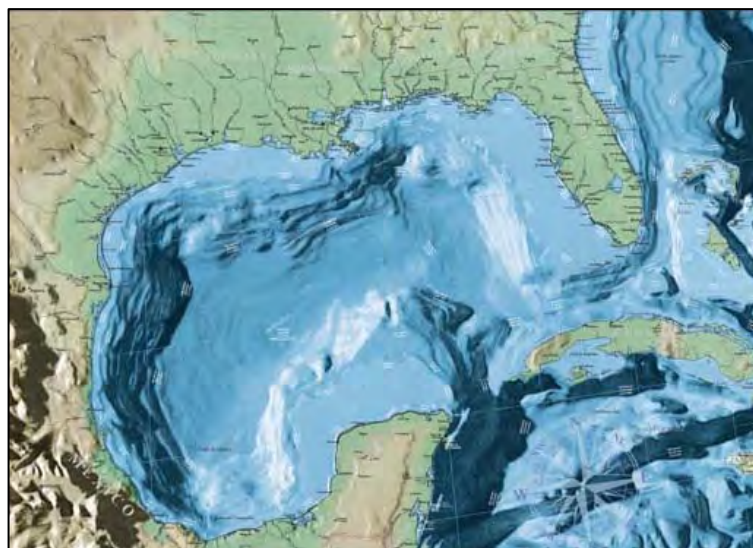


Figura 12-2 Batimetría del golfo de México

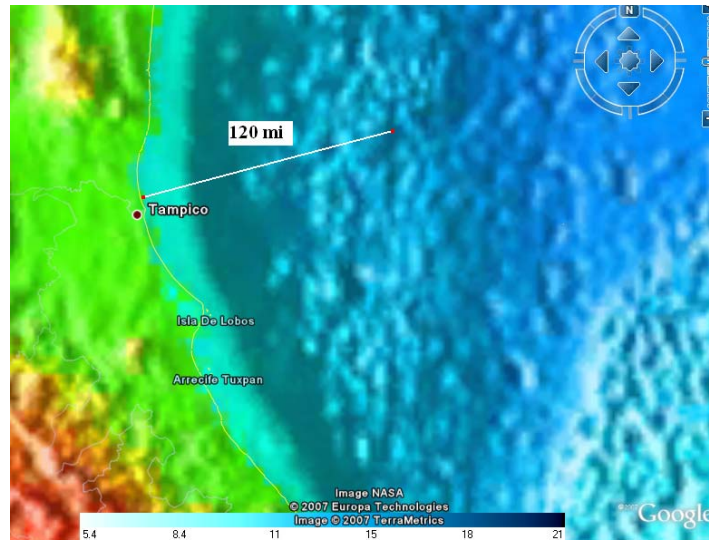


Figura 12-3 Localización de la planta OTEC en el golfo de México

12.1 Litros de agua producidos por una planta OTEC en el Golfo de México.

Para los cálculos del ciclo OTEC híbrido se tiene una demanda de 15,000,000 de litros de agua desalada por día. Basados en los datos del proyecto IMPULSA 20 MW pueden producir 100,000 [m³/día] de agua pura, si se tienen que desalar 15,000 [m³/día] se requieren 3 MW.

Las siguiente tabla (Tabla 12.1-1) describe la parte del ciclo de amoniaco como fluido de trabajo, la temperatura de la superficie del agua es de 24°C mientras que en el fondo marino se alcanzan temperaturas de 5°C

Tabla 12.1-1 Cálculos termodinámicos del Ciclo cerrado

Etapa	Temperatura [°C]	Presión [MPa]	Volumen Especifico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg.K]	Calidad	Fase
1	5	0.5159	0.001583	202.8	203.6	0.7951	0	Líquido Saturado
2	13.8	0.7	0.001614	243.7	244.9	0.9402	0	Líquido Saturado
3	24	0.7	0.1908	1351	1484	5.257		Vapor sobrecalentado

4	5	0.5159	0.2415	1315	1440	5.239	0.9937	Vapor Liquido mezcla
---	---	--------	--------	------	------	-------	--------	-------------------------

W_{bomba} [KJ/Kg]	$Q_{\text{intercambiador}}$ [KJ/Kg]	W_{turbina} [KJ/Kg]	$Q_{\text{condensador}}$ [KJ/Kg]	Flujo masico [Kg/s]
41.3	1239.1	44	1236.4	1111.111111

W_{bomba} [KW]	$Q_{\text{intercambiador}}$ [KW]	W_{turbina} [KW]	$Q_{\text{condensador}}$ [KW]
45888.88889	1376777.78	48888.88889	1373777.778

η_{carnot}
6.39%

Para calcular la cantidad de agua a desalar por un método de Flasheo.

$$\% \text{ Agua evaporada por Flash} = [(h_i - h_o) / h_{\text{fgs}}] * 100$$

Los valores típicos de un ciclo OTEC Híbrido son:

$$P_i = 1 \text{ bar}$$

$$P_o = 0.033 \text{ bar}$$

De acuerdo a tablas termodinámicas:

$$H_i = 417.47 \text{ kJ/kg}$$

$$H_o = 109.67 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{fgs}} = 2439.89 \text{ kJ/kg}$$

Se tiene que:

$$\% \text{ Agua evaporada por Flash} = [(417.47 - 109.67) / 2439.89] * 100$$

$$\% \text{ Agua evaporada por Flash} = 12.62 \%$$

Donde:

P_i Es la presión de entrada

P_o Es la presión de salida

H_i Entalpía del líquido saturado a la presión de entrada (P_i)

H_o Entalpía de líquido saturado a la presión de salida (P_o)

h_{fgs} Entalpía de vaporización en vacío

Esto significa que del total del agua de mar utilizada en el ciclo, el 12.62% es agua pura, esto resulta en 118,858,954 litros de agua de mar por día para poder desalar la cantidad de agua que se necesitamos para distribuir 175000 hogares.

Flujo másico de entrada en el proceso flash $22.7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Flujo másico de salida en el proceso flash $14.2 \text{ m}^3/\text{s}$

Se tiene que a 5°C , $h = 21 \text{ [KJ/Kg]}$

A los 24°C , $h = 100.71 \text{ [KJ/Kg]}$

Multiplicando los resultados por su respectivo flujo másico se obtiene la potencia que se necesita para accionar la bomba.

Por lo tanto 1a bomba 1 necesita 467.7kW mientras que la bomba 2 necesita 1430.082kW

En resumen.

La eficiencia térmica del ciclo será de 6.39%, y podrá producir 15 millones de litros de agua pura por día, la potencia generada a la salida será de 3 MW mientras que nuestro ciclo consumirá 47.794 MW debido a las bombas

12.2 Ciclos de entrega mediante barcos remolcadores.

Suposiciones:

La capacidad nominal de una bolsa de agua es de 35, 000 Toneladas.

Capacidad de la bolsa de agua=36, 000,000 litros

La velocidad del barco es de 4 nudos equivalentes a 2,06 m/s.

La distancia de la plataforma a la costa es de 120 millas equivalentes a 192 Km.

Por lo tanto el tiempo de medio ciclo es de 7,04 horas.

El ciclo completo es de 14.10 horas.

13. Evaluación de sustentabilidad planta Merelan en el Golfo de México

Contaminación producida por los barcos remolcadores.

Suposiciones:

Densidad de energía del combustible Fuel oil No1 (utilizado comúnmente por las embarcaciones)=135 000 Btu/gal

Consumo de combustible=85 galones de combustible por hora esto es 321,76 litros de combustible por hora.

Capacidad del tanque=120,000 galones de combustible lo que es igual a 454,249 litros de combustible.

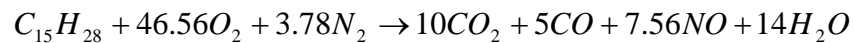
Densidad del combustible 979 Kg/m³

Masa atómica del Carbono 12 g/mol

Masa atómica del Oxígeno 16 g/mol

Masa atómica del Nitrógeno 14 g/mol

Masa atómica del Oxígeno 1 g/mol



$$M_{c_{15}H_{28}} = 208 \frac{g}{mol}$$

$$m_{c_{15}H_{28}} = \left(970 \frac{kg}{m^3}\right) (120,000 gal) \left(\frac{1m^3}{264.17 gal}\right) = 440,622kg$$

Por lo tanto:

$$m_{CO_2} = \left(\frac{10 \text{ molCO}_2}{1 \text{ molC}_{15}\text{H}_{28}} \right) \left(\frac{46 \text{ gCO}_2}{\text{molCO}_2} \right) \left(\frac{1 \text{ molC}_{15}\text{H}_{28}}{208 \text{ gC}_{15}\text{H}_{28}} \right) \left(\frac{1000 \text{ gC}_{15}\text{H}_{28}}{1 \text{ kgC}_{15}\text{H}_{28}} \right) (440,622 \text{ KgC}_{15}\text{H}_{28}) \left(\frac{1 \text{ kgCO}_2}{1000 \text{ gCO}_2} \right) =$$

$$m_{CO_2} = \frac{938 \text{ tonCO}_2}{\text{tan que}}$$

$$m_{CO} = \left(\frac{5 \text{ molCO}}{1 \text{ molC}_{15}\text{H}_{28}} \right) \left(\frac{15 \text{ gCO}}{\text{molCO}} \right) \left(\frac{1 \text{ molC}_{15}\text{H}_{28}}{208 \text{ gC}_{15}\text{H}_{28}} \right) \left(\frac{1000 \text{ gC}_{15}\text{H}_{28}}{1 \text{ kgC}_{15}\text{H}_{28}} \right) (440,622 \text{ KgC}_{15}\text{H}_{28}) \left(\frac{1 \text{ kgCO}}{1000 \text{ gCO}} \right) =$$

$$m_{CO} = \frac{153 \text{ tonCO}}{\text{tan que}}$$

$$m_{NO} = \left(\frac{7.56 \text{ molNO}}{1 \text{ molC}_{15}\text{H}_{28}} \right) \left(\frac{30 \text{ gNO}}{1 \text{ molNO}} \right) \left(\frac{1 \text{ molC}_{15}\text{H}_{28}}{208 \text{ gC}_{15}\text{H}_{28}} \right) \left(\frac{1000 \text{ gC}_{15}\text{H}_{28}}{1 \text{ kgC}_{15}\text{H}_{28}} \right) (440,622 \text{ KgC}_{15}\text{H}_{28}) \left(\frac{1 \text{ kgNO}}{1000 \text{ gNO}} \right) =$$

$$m_{NO} = \frac{463 \text{ tonNO}}{\text{tan que}}$$

$$m_{H_2O} = \left(\frac{14 \text{ molH}_2\text{O}}{1 \text{ molC}_{15}\text{H}_{28}} \right) \left(\frac{18 \text{ gH}_2\text{O}}{1 \text{ molH}_2\text{O}} \right) \left(\frac{1 \text{ molC}_{15}\text{H}_{28}}{208 \text{ gC}_{15}\text{H}_{28}} \right) \left(\frac{1000 \text{ gC}_{15}\text{H}_{28}}{1 \text{ kgC}_{15}\text{H}_{28}} \right) (440,622 \text{ KgC}_{15}\text{H}_{28}) \left(\frac{1 \text{ kgH}_2\text{O}}{1000 \text{ gH}_2\text{O}} \right) =$$

$$m_{H_2O} = \frac{514 \text{ tonH}_2\text{O}}{\text{tan que}}$$

Evaluación de los contaminantes.

$$\frac{85 \text{ galcomb}}{\text{hr}} \left(\frac{14,10 \text{ hrs}}{\text{dia}} \right) \left(\frac{1 \text{ tan que}}{120000 \text{ galcomb}} \right) \left(\frac{938 \text{ tonCO}_2}{1 \text{ tan que}} \right) = \frac{9.36 \text{ tonCO}_2}{\text{dia}}$$

$$\frac{85 \text{ galcomb}}{\text{hr}} \left(\frac{14,10 \text{ hrs}}{\text{dia}} \right) \left(\frac{1 \text{ tan que}}{120000 \text{ galcomb}} \right) \left(\frac{153 \text{ tonCO}}{1 \text{ tan que}} \right) = \frac{1.52 \text{ tonCO}}{\text{dia}}$$

$$\frac{85 \text{ galcomb}}{\text{hr}} \left(\frac{14,10 \text{ hrs}}{\text{dia}} \right) \left(\frac{1 \text{ tan que}}{120000 \text{ galcomb}} \right) \left(\frac{463 \text{ tonNO}}{1 \text{ tan que}} \right) = \frac{4.62 \text{ tonNO}}{\text{dia}}$$

$$\frac{85 \text{ galcomb}}{\text{hr}} \left(\frac{14,10 \text{ hrs}}{\text{dia}} \right) \left(\frac{1 \text{ tan que}}{120000 \text{ galcomb}} \right) \left(\frac{514 \text{ tonH}_2\text{O}}{1 \text{ tan que}} \right) = \frac{5.13 \text{ tonH}_2\text{O}}{\text{dia}}$$

14. Impacto financiero

- Poniendo la puesta en marcha de la planta Merelan México como un ejemplo el costo marginal promedio del suministro de agua a la población es de alrededor de \$15 pesos por metro cúbico.
- De cualquier manera las autoridades competentes para el uso y racionalización del agua están dispuestas a obtener entre 1 y 4 pesos por metro cúbico aportando 8 billones de dólares por año (800 pesos por persona) en subsidios de agua.
- El modelo Merelan ofrece a las autoridades competentes un precio de \$15 pesos por metro cúbico, teniendo un ahorro de 1 peso por metro cúbico.
- Este bajo precio se logra al bajar los costos de puesta en marcha con el decomiso de una plataforma petrolera para uso de desalación.

15. Propuesta de valor

Nuestro modelo crea una propuesta de valor para todos los consumidores involucrados. Con esta infraestructura los usuarios finales pueden tener acceso a una mayor cantidad de agua más limpia y pura. Las autoridades competentes en el uso y racionalización del agua pueden incrementar la calidad y el precio del suministro. El gobierno puede reducir el costo de subsidio dado y puede utilizar estas ganancias para uso de otros proyectos sociales. Las empresas petroleras pueden mejorar sustancialmente sus relaciones públicas así como conservar su licencia para operar.

Finalmente la Alianza Merelan cumple su misión al ofrecer una solución viable al problema de la escasez del agua, dando un impacto positivo en el aspecto social, financiero y ambiental.



Esquema 15.1 Propuesta de valor por parte de la alianza Merelan a sus consumidores

16. Conclusiones

o Agua

El agua es el sustento de la vida, vivimos en un planeta llamado tierra, que bien podría llamarse agua ya que tres cuartos de su superficie esta cubierta por este elemento; del total del agua en la tierra únicamente el 3% es potable, de esta cantidad la mayor parte se encuentra almacenada en icebergs y casquetes polares; el agua pura que se encuentra en ríos, lagos y yacimientos subterráneos se esta contaminando de manera incremental, ciudades del tamaño de la ciudad de México sufren de una escasez del agua en su vida diaria, el agua se convierte día a día en un conflicto mundial, las guerras del futuro no estarán relacionadas con el petróleo, sino por el agua en si, aunado a todos estos factores, el cambio climático resulta en una vertiente importante para el problema de escasez de agua ya que se pueden intensificar las sequias globales junto con sus consecuencias, la solución del problema no radica en incrementar la cantidad de agua , sino hacer y mantener de por vida un uso racional y sustentable de este recurso, crear una cultura del agua a nivel general, aplicable no solo para los ciudadanos sino para el gobierno, las universidades y las industrias, con

una visión estructurada y con ello hacer que las futuras generaciones no se vean comprometidas a causa de los errores cometidos en el presente.

- Desalación:

La desalación de agua se ha practicado durante 50 años y es ahora una técnica rentable y económica cuando se producen volúmenes muy altos esto es debido a una mejor eficiencia en los procesos y en los equipos, a lo largo de este proyecto pudimos reconocer que este tipo de tecnología es muy utilizada en países de medio Oriente, y cabe resaltar que la planta de desalación mas grande del mundo se encuentra en Israel, siendo la punta de lanza de la investigación a nivel mundial junto con los países Europeos, sin embargo en México esta tecnología es relativamente nueva y no ha tenido un apoyo suficiente de parte del Gobierno, es importante puntualizar que es necesario mantener estándares ambientales en los procesos de desalación que creen un nivel de sustentabilidad que se vea reflejado en la calidad del producto, de esta manera se tendrá una respuesta a los retos que existen actualmente principalmente en el uso secundario del producto de desalación desde mi punto de vista el costo se ha ido reduciendo a lo largo de los años y seguirá con esa tendencia en un futuro creando nichos de mercado donde se pueden generar ganancias económicas importantes a nivel nacional y mundial.

- Entendiendo las necesidades

De acuerdo a nuestras experiencias creemos que la manera mas viable para conocer las necesidades es a través de las entrevistas y de las experiencias del consumidor, es necesario tomar en cuenta todos los factores que influyen directa e indirectamente en nuestro producto y tomarlos en cuenta para poder generar un valor agregado, creando un significado para cada uno de los consumidores y conocer el problema de fondo.

- Trabajo en equipo

Resultado muy efectivo el formar fuerzas de trabajo para vencer los obstáculos que se encontraron a lo largo del proyecto en lugar de resolver los problemas en conjunto y al mismo tiempo. El tener juntas semanales fue una manera eficiente para conocer el progreso del proyecto, estas a su vez mantuvieron a cada uno de los miembros al corriente del trabajo realizado.

- Trascendiendo fronteras

Trabajar en un equipo internacional permitió a cada uno de los integrantes combinar los mejores recursos de cada país y aprender de la cultura que cada uno tenía así como sus debilidades y aptitudes.

- Habilidades

Conforme se iba avanzando en el proyecto unos con otros descubrimos que cada uno podía ofrecer a la alianza un cierto grado de experiencia y expertismo.

- Sustentabilidad+Asequibilidad

Resultado en un verdadero reto el desarrollar una tecnología sustentable que fuera a la vez económicamente accesible.

Evaluación

Se tuvo la oportunidad de presentar el concepto Merelan en la Universidad de California Berkeley, en este proceso de evaluación estuvieron presentes miembros del Gobierno del Estado de California USA, miembros de los municipios de agua en el estado de California USA, el director de la Facultad de Ingeniería UNAM M. en C. Gonzalo Guerrero Zepeda, profesores de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Dr. Marcelo López Parra, Dr. Vicente Borja Ramírez y Dr. Alejandro Reivich así como las profesoras de Ingeniería Mecánica y de Haas School of Business Alice Agogino y Sara Beckman respectivamente por la Universidad de California Berkeley

Evaluación de los jueces					
Misión	3.8	3.7	0.3	4.1	3.3
Necesidades de los compradores y usuarios	3.3	3.6	0.4	4.2	3.1
Generación de concepto	3.3	3.5	0.4	4.2	3.1
Selección de concepto	3.3	3.5	0.3	3.9	3.1
Prueba de concepto	2.5	3.2	0.4	4.1	2.5
Análisis Financiero	3.5	3.2	0.5	4.1	2.4
Análisis de sustentabilidad	3.5	3.4	0.5	4.5	2.9
Prototipo	3.2	3.4	0.5	4.7	2.9
PROMEDIO	3.3	3.5	0.2	3.8	3.0
RANK					
Evaluación de los estudiantes					

Misión	4.3	3.9	0.4	4.5	3.2
Necesidades de los compradores y usuarios	3.6	4.0	0.3	4.4	3.3
Generación de concepto	3.5	3.9	0.3	4.5	3.5
Selección de concepto	3.4	3.8	0.3	4.2	3.4
Prueba de concepto	2.9	3.7	0.4	4.2	2.9
Análisis Financiero	4.2	3.8	0.3	4.3	3.4
Análisis de sustentabilidad	3.8	4.0	0.4	4.7	3.3
Prototipo	3.7	3.9	0.2	4.3	3.5
PROMEDIO					
RANK					
Desarrollo a gran escala?	35%	45%	18%	67%	22%
Continúa la investigación?	94%	82%	14%	100%	57%

Referencias Bibliográficas

1. Crawford Merle, New products management, McGrawHill 7th edition
2. Hawken Paul, Natural Capitalism: Creating the next industrial revolution
3. Johansson Thomas B. Renewable Energy, Island Press
4. Lavi A, Plumbing the ocean depths: a new source of power, IEEE Spectrum
5. Griekspoor W, OTEC-principles, problems and progress- Offshore Engineer
6. Wark Kenneth, Termodinámica 6a edición, McGraw Hill
7. Instituto de Ingeniería UNAM, Desalación de agua de mar con energías renovables
8. Zhou Yuan, Evaluating the cost of desalination and water transport, Department of Engineering and Public Policy, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA
9. Semiat Raphael, Desalination: Present and Future, International Water Resources Association.
10. Al Sofi Mohammad, An application in water treatment, Saudi Arabia
11. Comisión Nacional del Agua (Conagua), El agua en México, Cuarto foro mundial del agua Marzo 2006.

Referencias Electrónicas

1. Natural Capitalism
www.natcap.org
2. Aqueus Solutions
<http://www.natcap.org/images/other/NCchapter11.pdf>

3. The desalination technology race
<http://ec.europa.eu/environment/etap>
4. Desalination system using the membrane distillation process
http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/techno/n02_kaisui/n02_kaisui.htm
5. Desalination by using alternative energy
www.elsevier.com/locate/desal
6. Water transport
http://www.alshindagah.com/janfeb2002/Water_transport.html
7. Veolia Water Desalination
<http://www.veoliawater.com/press/press-releases/press-2007/20070628,1494.htm>
8. Desalination Report
https://bspace.berkeley.edu/access/content/group/64d6482d-4e8c-4869-80a9-b2b0c393e3b9/desalination_report.pdf
9. Creative thinking techniques
<http://www.virtualsalt.com/crebook2.htm>
10. Creating good interviews and surveys questions
<http://owl.english.purdue.edu/owl/resource/559/06/>
11. Ecodesign strategies
<http://www.idsa.org/whatsnew/sections/ecosection/pdfs/designandenvironment.4.pdf>
12. Design for sustainability
<http://www.d4s-de.org/>
13. OTEC News
<http://www.otecnews.org/>
14. OTEC Open Cycle
http://www.otecnews.org/articles/vega/05_open_cycle.html
15. Pacific International Center of High Technology research
<http://www.pichtr.org/>
http://library.greenocean.org/oteclibrary/otecdesigns/design_oc_otec_nelha.pdf
16. Human Capitalism
<http://www.natcap.org/images/other/NCchapter14.pdf>
17. Survey monkey
www.surveymonkey.com
18. Bspace
www.bspace.berkeley.edu

Anexos

I.Lista de figuras	Página
Figura 1. Alianza Merelan, Universidad de California Berkeley y facultad de Ingeniería Unam.....	3
Figura 1.1-1 Regiones afectadas por la escasez del agua.....	4
Figura 2.5.1 Variación de la temperatura con respecto a la profundidad.....	10
Figura 2.5.2 Termoclina.....	11
Figura 2.8.1-1 Representación esquemática de una planta de desalación de osmosis inversa.....	15
Figura 2.8.2.1-1 Representación esquemática de una planta de una planta de desalinización Multi-Stage Flash.....	17
Figura 2.8.2.1-2 Flujo de agua de mar a través de los intercambiadores de calor instalados.....	17
Figura 2.8.2.1-3 Sistema de calentamiento utilizando vapor de extracción.....	18
Figura 2.8.2.1-4 Flujo esquemático del proceso.....	19
Figura 2.8.2.1-5 Arreglo esquemático de una evaporadora Flash.....	19
Figura 2.8.2.2-1 Representación esquemática del proceso de desalación MED.....	20
Figura 2.8.2.2-2 Planta de desalación MED con alimentación en paralelo.....	20
Figura 2.8.2.2-3 Planta de desalación MED en serie.....	22
Figura 2.8.2.3-1 Representación esquemática de una tubería horizontal de una planta desaladora por compresión de vapor.....	24
Figura 6.1 Un mercado potencial: Mar de Cortes.....	28
Figura 6.2 Mercado potencial: Golfo de México.....	28
Figura 6.3 Mercado potencial: Costas de Florida.....	29
Figura 9.1.1-1 Expropiación de una plataforma petrolera para uso de una planta de desalinización.....	32
Figura 9.1.2-1 Colector solar aprovechado en el proceso de desalinización.....	33
Figura 9.1.2-2 Vista del colector solar.....	33
Figura 9.1.3 Concepto de buque tanque con capacidad de almacenar agua Pura y sal.....	34
Figura 9.1.4-1 Localización de las ventilas hidrotermales alrededor del mundo.....	35
Figura 9.1.4-2 Ciclo Rankine haciendo uso una ventila hidrotermal.....	35

Figura 9.1.5-1 Concepto de aprovechamiento de las corrientes marinas.....	36
Figura 9.1.6-1 Distribución de la energía producida por la tecnología OTEC.....	36
Figura 9.1.7-1 Uso de agua fría tomada del fondo marino para uso en aire acondicionado.....	37
Figura 9.1.8-1 Aerogenerador eólico para la alimentación secundaria de La planta de desalación.....	37
Figura 9.2.1-1 Ruteador de agua basado en la calidad del líquido.....	38
Figura 9.2.2-1 Concepto de distribución del agua desalada.....	39
Figura 9.2.3-1 Sistema de distribución a clientes finales.....	39
Figura 9.3.1-1 Uso del purificador de agua en regiones de África.....	40
Figura 9.3.1-2 Diagrama de funcionamiento LifeStraw®.....	41
Figura 9.3.2-1 Sistema de almacenamiento de agua de deshielo.....	42
Figura 9.3.3-1 Técnicas de perforación simple.....	42
Figura 9.3.3-2 Mano de obra y maquinas simples para perforación.....	43
Figura 9.3.4-1 Recolección de agua de lluvia utilizando un tanque de cemento.....	43
Figura 11.1 Principales variables del proyecto.....	45
Figura 11.1-1 Costas americanas del Golfo de México.....	46
Figura 11.1-1.1-1 Unidad flotante de producción almacenamiento y descarga.....	48
Figura 11.1-1.2-1 Plataforma sumergible de estructura redonda Petrobras.....	48
Figura 11.1-1.3.1 Plataforma semi-sumergible Thunder Horse British Petroleum.....	49
Figura 11.1.2.1 Plataforma fija.....	50
Figura 11.2-1 Representación conceptual de una planta OTEC.....	51
Figura 11.2-2 Gradientes térmicos en diferentes zonas del mundo esquema ideal para puesta en marcha de una planta OTEC.....	52
Figura 11.2-1.1 Representación del ciclo OTEC abierta.....	54
Figura 11.2-2.1 Representación del ciclo OTEC cerrado.....	55
Figura 11.2.1.3-1 Representación ciclo OTEC híbrido.....	56
Figura 11.3.1 Llenado en plataforma de la bolsa.....	57
Figura 12.1 Gradiente de temperaturas en el Golfo de México.....	58
Figura 12.2 Batimetría del Golfo de México.....	58
Figura 12.3 Localización de la planta OTEC en el Golfo de México.....	59
Esquema 15.1 Propuesta de valor por parte de la alianza Merelan a sus consumidores.....	65

II. Lista de tablas

Tabla 2.2-1 Composición de solutos sólidos del agua de mar.....5
Tabla 2.8.1-1 Tabla de comparación de las membranas.....14
Tabla 11.1-1 Profundidad de explotación de crudo en costas americanas.....47
Tabla 11.3.1-1 Características de una bolsa para transporte de agua.....57
Tabla 12.1-1 Cálculos termodinámicos del ciclo cerrado.....59

III. Análisis financiero planta Merelan Golfo de México

PRIMITIVE VARIABLES:

Capital cost	\$ 50,744,750
Fixed operating & maintenance cost per year	\$ 1,790,000
Variable operating & maintenance cost per liter	\$ 0.00084
Anticipated volume (liters) per year (330 operating days)	4,950,000,000
Price per liter to municipality	\$ 0.00135
Revenue growth rate (g)	2%
Fixed costs growth rate	1%
Variable costs growth rate	0.1%
Scrap value of plant in 25 years	\$ 5,074,475
Tax rate	35%
Depreciation time line in years	25

CAPITAL COST	
Direct Cost	
Platform retrofit	\$ 3,000,000
Process equipment	\$ 20,000,000
Auxiliary equipment	\$ 13,000,000
Disposal system	\$ 6,000,000
Construction labor	\$ 1,125,000
Tugboats (2)	\$ 300,000
Water bags (10)	\$ 250,000
Total Direct Cost	\$ 43,675,000
Indirect Cost	
Construction overhead	\$ 2,006,250
Construction insurance	\$ 2,183,750
Owner's cost	\$ 2,006,250
Contingency cost	\$ 873,500
Total Indirect Cost	\$ 7,069,750
TOTAL CAPITAL COST	\$ 50,744,750

Notes:

Process equipment includes water treatment units, instrumentation, and controls

Auxiliary equipment includes storage tanks, generators, pumps, pipes, electrical wiring, etc.

Average annual salary = \$30,000; Crew = 25 members; Length of contract = 1.5 years

Tugboats estimated at \$150,000 each

Waterbags estimated at \$25,000 each

Insurance cost is estimated at 5% of total direct cost

Construction overhead includes field supervision, benefits, temporary facilities; estimated at 5% of direct materials and labor

Owner's cost includes engineering design, contract administration, administrative expenses, legal fees; estimated at 5% of direct materials and labor

Contingency cost includes possible additional services; estimated at 2% of total direct cost

OPERATING & MAINTENANCE - FIXED COST	
Fixed	
Platform maintenance	\$ 500,000
Equipment maintenance	\$ 200,000
Tugboat/water bag maintenance	\$ 40,000
Administrative overhead	\$ 750,000
Operating & maintenance insurance	\$ 300,000
TOTAL FIXED COST PER YEAR	\$ 1,790,000

OPERATING & MAINTENANCE - VARIABLE COST			
Variable Cost		Per Liter	Per Cubic Meter
Electrical power	\$	0.00044	\$ 0.44
Chemical treatment	\$	0.00015	\$ 0.15
Direct labor	\$	0.00020	\$ 0.20
Bunker fuel	\$	0.00003	\$ 0.03
Filtration	\$	0.00002	\$ 0.02
TOTAL VARIABLE COST	\$	0.00084	\$ 0.84

<u>Subsidy Savings</u>		Per Cubic Meter
True marginal cost of supplying water to Mexico	\$	1.45
Merelan Alliance price to government	\$	1.35
Saving per cubic meter	\$	0.10
Total annual saving	\$	495,000

NPV

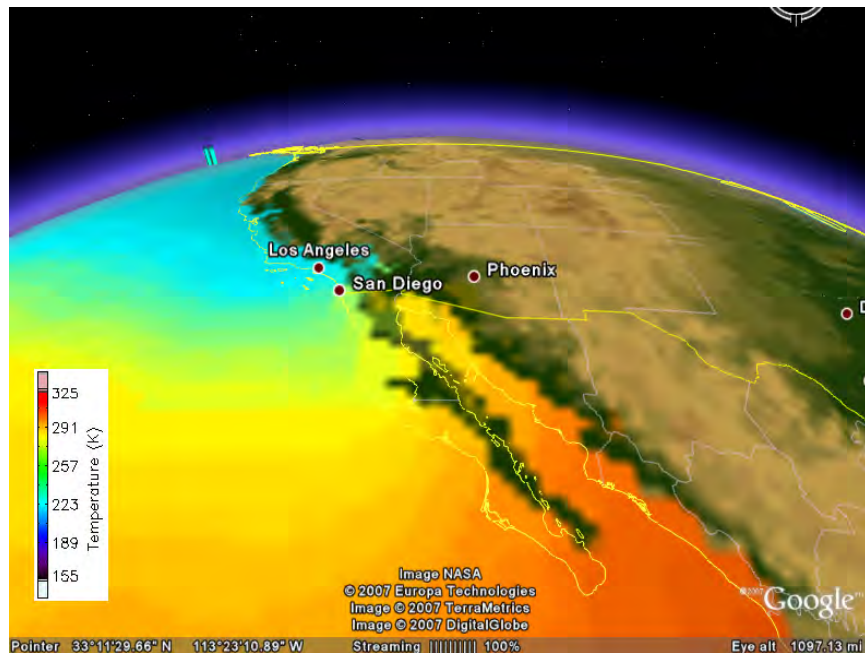
	YEAR 0	YEAR 1	YEAR 2	YEAR 3	YEAR 4	YEAR 5	YEAR 6
REVENUE	\$ -	\$ 6,682,500	\$ 6,816,150	\$ 6,952,473	\$ 7,091,522	\$ 7,233,353	\$ 7,378,020
FIXED COSTS	\$ -	\$ (1,790,000)	\$ (1,807,900)	\$ (1,825,979)	\$ (1,844,239)	\$ (1,862,681)	\$ (1,881,308)
VARIABLE COSTS	\$ -	\$ (4,158,000)	\$ (4,162,158)	\$ (4,166,320)	\$ (4,170,486)	\$ (4,174,657)	\$ (4,178,832)
DEPRECIATION	\$ -	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)
EARNINGS BEFORE INTEREST/TAXES (EBIT)	\$ -	\$ (1,295,290)	\$ (1,183,698)	\$ (1,069,616)	\$ (952,993)	\$ (833,775)	\$ (711,910)
TAXES	\$ -	\$ 453,352	\$ 414,294	\$ 374,366	\$ 333,547	\$ 291,821	\$ 249,168
DEPRECIATION	\$ -	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790
CAPITAL EXPENDITURES	\$ (50,744,750)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
OIL COMPANY SPONSORSHIP	\$ 50,744,750	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
FCF	\$ -	\$ 1,187,852	\$ 1,260,386	\$ 1,334,539	\$ 1,410,345	\$ 1,487,836	\$ 1,567,049
COST OF CAPITAL		15%					
NPV	\$ 10,932,832						

YEAR 7	YEAR 8	YEAR 9	YEAR 10	YEAR 11	YEAR 12	YEAR 13	YEAR 14	YEAR 15	YEAR 16
\$ 7,525,580	\$ 7,676,092	\$ 7,829,614	\$ 7,986,206	\$ 8,145,930	\$ 8,308,849	\$ 8,475,026	\$ 8,644,526	\$ 8,817,417	\$ 8,993,765
\$ (1,900,121)	\$ (1,919,122)	\$ (1,938,314)	\$ (1,957,697)	\$ (1,977,274)	\$ (1,997,046)	\$ (2,017,017)	\$ (2,037,187)	\$ (2,057,559)	\$ (2,078,134)
\$ (4,183,010)	\$ (4,187,193)	\$ (4,191,381)	\$ (4,195,572)	\$ (4,199,768)	\$ (4,203,967)	\$ (4,208,171)	\$ (4,212,380)	\$ (4,216,592)	\$ (4,220,808)
\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)
\$ (587,341)	\$ (460,014)	\$ (329,870)	\$ (196,853)	\$ (60,901)	\$ 78,045	\$ 220,048	\$ 365,170	\$ 513,476	\$ 665,032
\$ 205,569	\$ 161,005	\$ 115,455	\$ 68,898	\$ 21,315	\$ (27,316)	\$ (77,017)	\$ (127,809)	\$ (179,717)	\$ (232,761)
\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 1,648,018	\$ 1,730,781	\$ 1,815,374	\$ 1,901,836	\$ 1,990,204	\$ 2,080,519	\$ 2,172,821	\$ 2,267,150	\$ 2,363,549	\$ 2,462,061

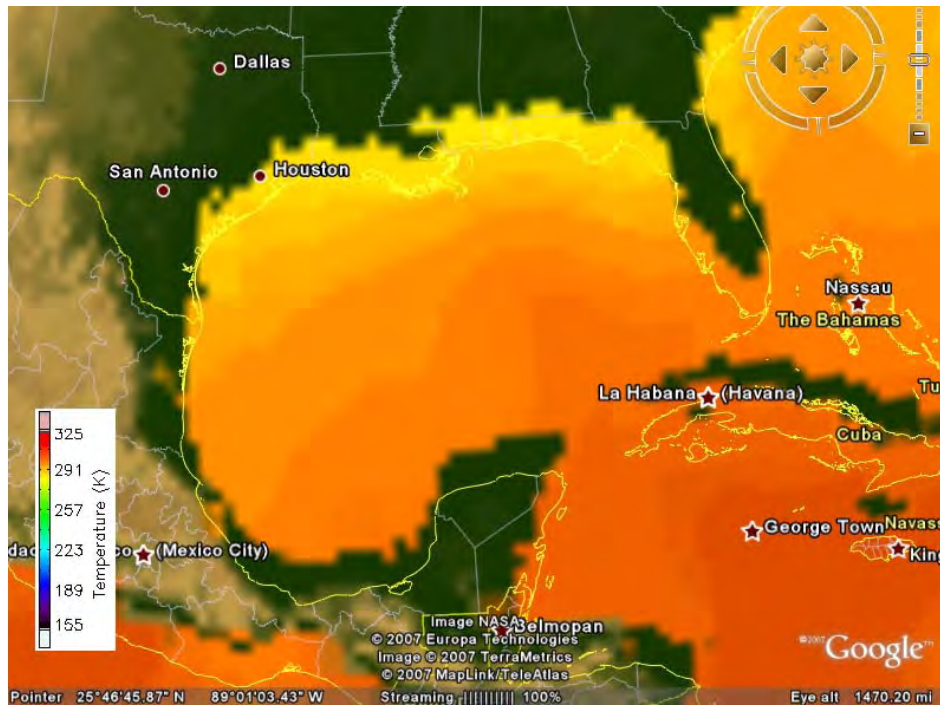
YEAR 17	YEAR 18	YEAR 19	YEAR 20	YEAR 21	YEAR 22	YEAR 23	YEAR 24	YEAR 25
\$ 9,173,640	\$ 9,357,113	\$ 9,544,256	\$ 9,735,141	\$ 9,929,843	\$ 10,128,440	\$ 10,331,009	\$ 10,537,629	\$ 10,748,382
\$ (2,098,916)	\$ (2,119,905)	\$ (2,141,104)	\$ (2,162,515)	\$ (2,184,140)	\$ (2,205,982)	\$ (2,228,041)	\$ (2,250,322)	\$ (2,272,825)
\$ (4,225,029)	\$ (4,229,254)	\$ (4,233,484)	\$ (4,237,717)	\$ (4,241,955)	\$ (4,246,197)	\$ (4,250,443)	\$ (4,254,693)	\$ (4,258,948)
\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)	\$ (2,029,790)
\$ 819,905	\$ 978,164	\$ 1,139,878	\$ 1,305,119	\$ 1,473,959	\$ 1,646,472	\$ 1,822,735	\$ 2,002,824	\$ 2,186,819
\$ (286,967)	\$ (342,357)	\$ (398,957)	\$ (456,792)	\$ (515,885)	\$ (576,265)	\$ (637,957)	\$ (700,988)	\$ (765,387)
\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790	\$ 2,029,790
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,074,475
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 2,562,729	\$ 2,665,597	\$ 2,770,711	\$ 2,878,117	\$ 2,987,863	\$ 3,099,997	\$ 3,214,568	\$ 3,331,626	\$ 8,525,697

IV. Mapas e Imágenes GIS

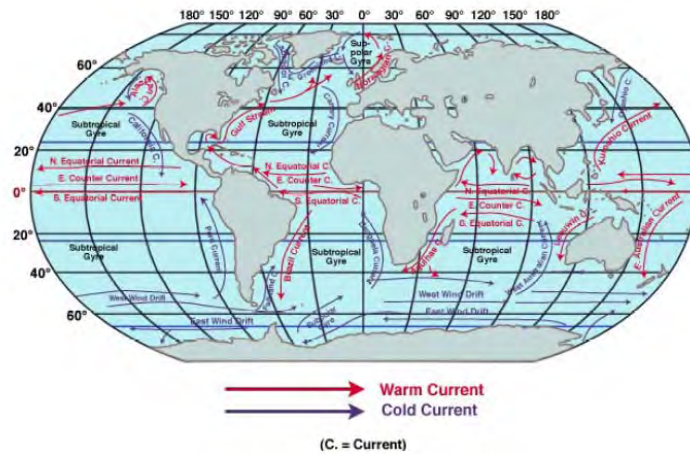
1. Gradientes de temperaturas en la superficie del Océano Pacifico



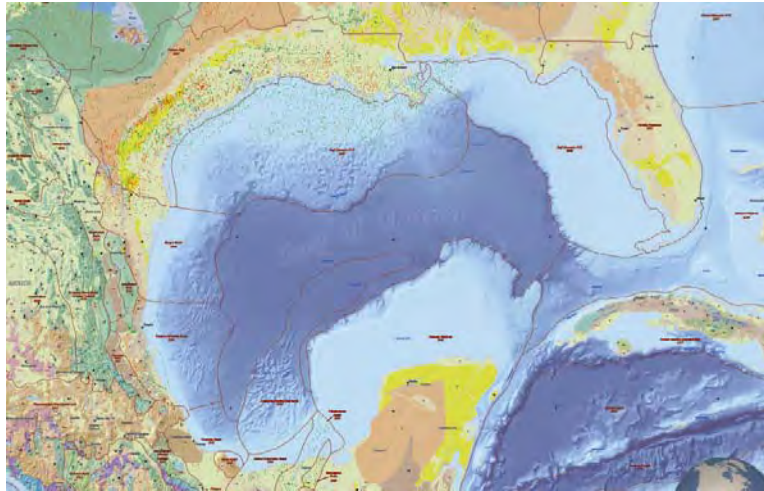
2. Gradientes de temperaturas en el Golfo de México



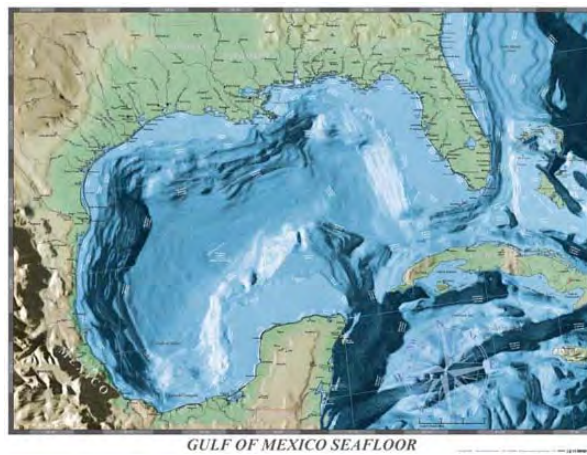
3. Corrientes mundiales



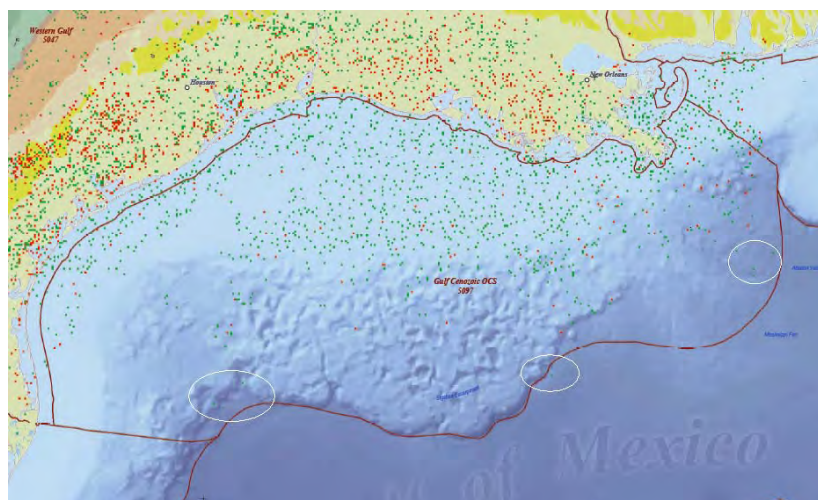
4. Pozos petroleros en el golfo de México



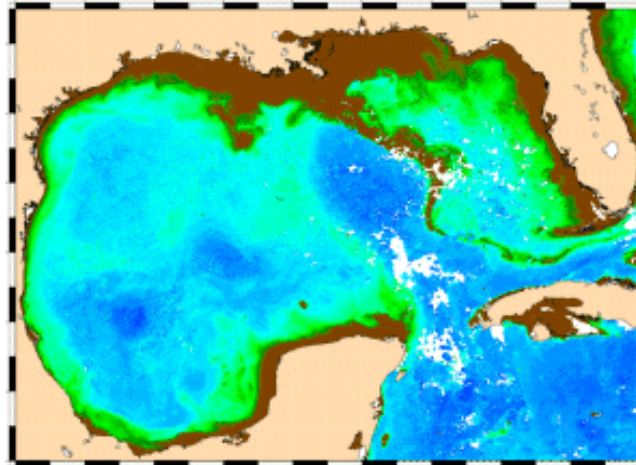
5. Batimetría del Golfo de México



6. Plataformas Americanas en el Golfo de México Las Mejores elevaciones para el uso de tecnología OTEC



7. Concentraciones de Clorofila en el golfo de México



Chlorophyll concentration on 4 August 2004

Credit : CLS

8. Batimetría y mejores localizaciones para poner en marcha una planta OTEC en el Golfo de México

