



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LAS
TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN DE AGUA
CON POTENCIALIDAD DE APLICACIÓN EN
EL NOROESTE DE MÉXICO

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTA:

PEDRO ARTURO GONZÁLEZ COELLO



DIRECTOR DE TESIS:
DR. GABRIEL LEÓN DE LOS SANTOS

Ciudad Universitaria, México D.F., Mayo 2013

Dedicatorias y agradecimientos

Agradezco a Dios que me permitió estar presente en esta vida y puso en mi camino a muchos seres queridos.

A mis padres Catalina y Pedro Arturo por su apoyo incondicional en cada momento de vida.

A mi hermana Noriko que me dio ánimos y estuvo presente a lo largo de toda mi carrera.

A Sussy por haber estado apoyándome en los buenos y malos momentos con su atención, cariño y paciencia para que pudiera concluir satisfactoriamente mis estudios universitarios.

El amor es una fuente de energía...
seamos baterías.

Anónimo

Estudio y evaluación de las tecnologías de desalación de agua con potencialidad de aplicación en el noroeste de México

Objetivo general:

Hacer un estudio de las tecnologías de desalación de agua existentes en el mundo, y evaluar cuál podría ofrecer mejores y mayores potenciales para el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables abundantes como el solar y el geotérmico, bajo las condiciones geográficas, energéticas y de demanda de la región noroeste de México, caracterizada por un clima árido y falta de agua potable.

Metas:

- Estudiar y entender las tecnologías de desalación de agua: MED, RO, Y MSF.
- Conocer y plantear las necesidades de agua potable en la región noroeste del país.
- Conocer los potenciales energéticos renovables que pueden aplicarse para hacer operar las tecnologías.
- Hacer un análisis comparativo entre las diferentes tecnologías, para determinar cuál ofrece mayores y mejores resultados, en base a sus costos de inversión, de operación y mantenimiento, y el valor de producción de agua.
- Mostrar las barreras para su implementación.

➤ Resumen

En el presente trabajo se estudia y analiza una de las formas que ha encontrado el hombre para obtener "agua potable" (recurso vital para los seres vivos) por medio de la desalinización de agua de mar. Dicha tecnología ha sido desarrollada a lo largo de los años, llegando hoy en día a tener una importante participación en el abastecimiento de agua en zonas áridas o con poca precipitación hídrica.

De esta forma planteamos comenzar el estudio en el Noroeste de México caracterizado por mostrar niveles críticos de abastecimiento de agua potable en la población. Haciendo un análisis comparativo entre las diferentes regiones que conforman la región, hicimos un estudio puntual de las condiciones con las que cuenta la región de Los Cabos, Baja California Sur, resultando así ser específicamente esta región la de potencialidad para aplicación de una planta desaladora. Con el fin de contrarrestar hasta en un 50% la carencia de dicho recurso.

Para conocer la potencialidad de la región de Los Cabos analizamos las condiciones geográficas tales como: posición del lugar, infraestructura hídrica, cantidad de yacimientos geotérmicos, potencial solar). Con el fin de que establezcamos la planta que mejor se adapte a dichas características. Tomando en cuenta que dicha planta ha sido propuesta para tener como principal fuente de abastecimiento energético las energías renovables.

Hacemos referencia a un conjunto de leyes y normas nacionales e internacionales vigentes aplicables al desarrollo e implementación de tecnologías que ayuden a combatir la problemática de la escasez de agua.

Índice

INTRODUCCION.....	1
1.-Antecedentes.....	6
1.1 Introducción.....	6
1.2 Medio ambiente y sustentabilidad.....	6
1.3 Energía (Fuentes de energía: Renovables y No Renovables).....	11
1.4 Agua.....	14
1.5 Relación Agua y Energía	17
1.6 Conclusiones.....	22
2.-Caracterización de las necesidades y recursos hídricos de la región noroeste.....	23
2.1 Introducción.....	23
2.2. Población	24
2.3. Precipitación media.....	26
2.4. Presas principales.....	31
2.5. Costo de la energía eléctrica por tipo de tecnología.....	35
2.6 Conclusiones.....	37
3.- Caracterización de los potenciales energéticos disponibles y producción de los mismos.	39
3.1 Introducción.....	39
3.2 Potencial geotérmico y tecnologías de aprovechamiento.....	39
3.3. Potencial Solar y Tecnologías de aprovechamiento	44
3.4. Producción del Sistema MSF.....	49
3.5. Producción del Sistema MED	53
3.6 Producción del Sistema RO (Osmosis Inversa).....	56
3.7 Conclusión	58
4. Análisis comparativo entre las diferentes tecnologías.....	59
4.1 Introducción.....	59
4.2. Análisis de viabilidad de uso del sistema MED, RO y MSF.....	59
4.3. Conclusiones.....	67
5. Expectativas del uso de tecnologías en el país.....	68
5.1. Introducción.....	68
5.2. Normatividad vigente aplicable al uso de las tecnologías de desalación	69
5.3. Aspectos ambientales	72
6.-Conclusiones	75
Nomenclatura	77

<i>Glosario</i>	78
<i>Índice Tablas</i>	79
<i>Índice Figuras</i>	81

INTRODUCCION

Actualmente la problemática de la escasez de agua es un problema a nivel mundial que cada día ocupa más la atención de científicos, técnicos, políticos y en general a muchos habitantes del planeta. Debido a que sólo muy poca agua es utilizable para el consumo del hombre el 97 % del agua es salada y el 3% es agua dulce, de este pequeño porcentaje la mayoría se encuentra en los polos y no se puede aprovechar, así solo el 1 %¹ está disponible para el consumo humano.

México, es un país rico en recursos naturales obtiene el agua que consume la población de fuentes tales como ríos, arroyos y acuíferos del subsuelo, estos acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias.

La desproporción que existe entre la cantidad de agua que se capta por escurrimiento y las extensiones territoriales que comprenden aunado a la corta temporada de lluvias hace que la disponibilidad del agua sea cada vez menor.

Bajo este panorama México enfrenta actualmente graves problemas de disponibilidad desperdicio y contaminación de agua.

El agua es indispensable para cualquier actividad: la industrial, la agrícola y la urbana ya que promueve su desarrollo económico y social. Es por eso que en la actualidad y desde hace ya varios años países de primer mundo han tomado cartas en el asunto y han hecho una concientización de los recursos naturales no renovables y del aprovechamiento de los recursos renovables. La implementación de la tecnología en sistemas para el aprovechamiento de los recursos renovables ha tomado gran importancia.

Tales como la desalinización del agua de mar, existen dos formas básicas para desalar el agua de mar, una denominada desalación térmica o destilación, en la cual el agua de mar se calienta hasta evaporarla, el vapor se condensa formando agua dulce y el agua sobrante se desecha como salmuera concentrada.

La otra, es de ósmosis inversa, en la cual el agua de mar es filtrada y luego bombeada a muy alta presión a través de unas membranas de tamaño de poro minúsculo, las que sólo dejan pasar el agua y no la sal.

¹ 2013, Comisión Estatal de Aguas, CEA Querétaro, Recuperado Mayo 2013 www.ceaqueretaro.gob.mx
Salmuera: Agua con una alta concentración de sal disuelta (NaCl)

En el mundo, la desalación por métodos térmicos ha tenido un fuerte desarrollo en los países árabes donde abunda el petróleo pero escasea el agua. En países como Kuwait el 95 % del agua proviene de la desalación.

Vale la pena resaltar que en la mayoría de los países árabes existe un ministerio de agua y energía donde ambos temas se encuentran bajo una sola autoridad, siendo más importante el agua que el petróleo.

Es importante destacar que los países punteros en esta tecnología han logrado disminuir el costo del agua desalada en forma considerable, como consecuencia básicamente de la reducción del costo energético (principal componente del costo del agua desalada) y de las mejoras tecnológicas y de los mercados. En definitiva el principal factor restrictivo para el empleo de la desalación del agua de mar es el económico, pues el costo de la desalación marca el umbral al que se puede obtener el recurso en zonas costeras.

Como caso ilustrativo podemos decir que, en general, para producir un metro cúbico de agua desalada se requiere quemar (para calor o electricidad) un litro de petróleo. Para producir un metro cúbico por segundo (86,400 metros cúbicos por día), cantidad suficiente para 300 000 personas, una planta de ósmosis inversa requeriría 15 MW y produciría agua desalada a un costo de ocho pesos por metro cúbico. Una desaladora térmica requeriría 400 toneladas por hora de vapor para producir un metro cúbico por segundo, el cual costaría en promedio doce pesos por metro cúbico.

Por otro lado, el impacto ambiental asociado medio marino con las plantas desaladoras no se debe dejar de lado, ya que en ambos tipos de procesos el vertido de salmuera es el que afecta más al agua de mar. Las aguas residuales resultantes de la desalinización tienen un contenido mayor en sales que las aguas de origen, es así que se recomienda que los vertidos se realicen en fondos sin vegetación.

Nuevas empresas han surgido a lo largo de los últimos años llevando a cabo este tipo de tecnologías, este proceso ha ido en crecimiento, lamentablemente en nuestro país la concientización climática y de los recursos naturales apenas va comenzando.

Empresas dedicadas a los servicios y proyectos energéticos han encontrado un nuevo camino en la desalinización del agua, vía los sistemas de desalación de agua MED Y RO.

Los cuales se describen a continuación:

El sueño de obtener agua dulce de esa fuente inagotable que son los océanos, no se detiene sin embargo aquí. Frente a la idea de desalar agua con energías más verdes, está la aspiración de hacerlo con fuentes inagotables. Como el sol. Así funciona una planta de destilación multiefecto alimentada por energía térmica solar: grandes paneles captan el calor de la luz del sol, que luego servirá para hacer que el agua de mar se evapore en varias etapas (sucesivos efectos) que sirven para aprovechar al máximo esa energía térmica. Al convertirse en vapor el agua deja atrás las moléculas de sales. Para cuando vuelve a enfriarse es sólo agua dulce, lista para beber.

Los dos principales procesos de destilación de agua de mar se les llama en varias fases intermitentes (MSF) . Dependiendo de la disponibilidad de energía en el lugar, y su calidad, las plantas MED pueden estar equipadas con un compresor (térmica o mecánica) con el fin de mejorar su rendimiento y optimizar las necesidades de energía. MED-TVC (thermal vapour compression)MED-MVC (mechanical vapour compression) Los procesos son entonces llamado MED-TVC (compresión de vapor termal) y MED-MVC (compresión mecánica de vapor) .

En el sistema RO (reverse osmosis) mediante este procedimiento es posible obtener agua desalinizada (menos de 5.000 microsiemens/cm de conductividad eléctrica) partiendo de una fuente de agua salobre, agua de mar, que en condiciones normales puede tener entre 20.000 y 55.000 microsiemens/cm de conductividad.

La medida de la conductividad del agua da una indicación de la cantidad de sales disueltas que contiene, dado que el agua pura no es un buen conductor de la electricidad (su potencial de disociación es menor de 0.00001).

La ósmosis inversa o reversa (RO) se ha convertido hoy en día en uno de los sistemas más eficientes para desalinizar y potabilizar el agua, siendo usada en barcos, aviones, industrias, hospitales y domicilios.

Mediante ósmosis inversa se consigue que el agua bruta que llega a la desaladora se convierta por un lado en un 40% de agua producto y un 55-60% de agua salobre.

La clave está en la constitución del fajo de membranas que intercalan redes-canales de circulación entre capa y capa y finalmente convergen en el centro del sistema. Como hay un flujo de entrada y dos flujos de salida, a uno se le conoce como rechazo salino y al otro como flujo de permeado y sus valores dependerán de la presión de entrada impuesta al sistema. Por lo general es factible encontrar membranas confeccionadas con poliamida o acetato de celulosa (este último material está en desaparición) con un rechazo salino de entre 96.5-99.8%. Existen membranas especializadas para cada tipo de agua, desde agua de mar hasta aguas salobres.

Dichas tecnologías han sido analizadas y propuestas como posible solución para combatir una de las principales problemáticas existentes en la región noroeste del país. Hablamos del desabasto hídrico que llega a ser severo en muchas regiones, tales como Baja California donde los valores de precipitación hídrica anual reporta niveles críticos de desabasto. A este desabasto le nombramos “estrés hídrico”, dicho estrés repercute principalmente en las necesidades básicas de la población.

Para combatir dicho desabasto se estudia y analiza la posible implementación de una planta térmica desaladora, que abastezca principalmente a la región de Los cabos ubicado dentro de la región perteneciente al Estado de Baja California Sur.

Uno de los principales factores considerados para la implementación de plantas desaladoras es el suministro energético, es por eso que también se analiza las condiciones que presenta dicha región para establecer una fuente de energía renovable que se adapte a las condiciones propias del lugar de interés.

De esta forma, al final se propone un sistema de desalinización cuya principal fuente de energía provenga de energías renovables. Esto se lleva a cabo por medio de análisis costo beneficio que representa la implementación y operación de una planta con las características mencionadas anteriormente.

Es así que el presente trabajo se encuentra conformado ,en una primera parte por mostrar la problemática que aqueja a naciones enteras alrededor del mundo y en específico a países en vías de desarrollo como lo es México donde son muy pocas las medidas o acciones que han puesto en marcha para reducir el desabasto de agua potable en regiones de asentamiento poblacional.

Después se analiza algunos factores en la región noroeste del país como son: población, precipitación media, cantidad de presas, costos de energía. Esto con el fin de limitar a una sola región de interés el estudio, al identificar a lo que llamaremos

“región de interés” analizando las condiciones que presenta para el aprovechamiento de fuentes de energía renovables.

Siguiendo con el análisis comparativo entre tres distintas formas de desalinización MED, MSF y RO comparando ventajas y desventajas entre las mismas, tomando como un factor importante el consumo energético. Dicho consumo energético será proviene de fuentes de energía renovables, esto con el fin de consolidar una planta con un impacto ecológico bajo.

Al final analizamos las distintas leyes, pactos o acuerdos internacionales y nacionales que favorecen o rigen la implementación de este tipo de tecnologías en un sentido social, ambiental y económico.

1.-Antecedentes

1.1 Introducción

Durante muchos años, los temas ambientales fueron ignorados o considerados secundarios. En consecuencia, no resulta sorprendente que ahora tengamos problemas ambientales que demandan una atención decidida: más de dos mil especies de plantas y animales están en alguna condición de riesgo, numerosos acuíferos se hallan sobreexplotados y la calidad y cantidad del aire y del agua no es adecuada en varias zonas del país, por citar sólo algunos de los problemas ambientales que hoy enfrentamos como país. A estos, ahora debemos sumar el cambio climático, un fenómeno que compromete seriamente la viabilidad de muchas naciones en el mundo, incluido México.

Afortunadamente, desde hace algunos años se ha empezado a reconocer el valor del capital natural como un elemento fundamental para alcanzar el verdadero desarrollo sustentable, lo cual ha significado el establecimiento de políticas, estrategias y acciones que promuevan la salud de los ecosistemas en el mismo rango de prioridad que tienen los sistemas económico, educativo o de salud pública. Sin embargo, para el diseño e implementación de estas medidas no basta sólo la buena voluntad de los gobiernos, sino que éstas deben estar sustentadas en información confiable y actualizada acerca del estado del ambiente y de los recursos naturales del país para que den los resultados esperados.

1.2 Medio ambiente y sustentabilidad

Una definición para desarrollo sustentable sería "Desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades". Esta definición fue empleada por primera vez en 1987 en la Comisión Mundial del Medio Ambiente de las naciones unidas (ONU).

Para la ONU la cuestión del medio ambiente es parte fundamental del desarrollo ambiental. De hecho, garantizar la sustentabilidad del medio ambiente es el séptimo Objetivo de Desarrollo del Milenio (ODM).

Las metas de la sustentabilidad, plantean que no son fijas, sino cambian dependiendo de los sucesos del futuro social y de su interacción con el ambiente². De esta manera se presentan los siguientes objetivos del desarrollo sustentable:

- a) Asegurar la satisfacción de las necesidades humanas esenciales, comenzando por las necesidades de los más pobres;
- b) Promover la diversidad cultural y el pluralismo;
- c) Reducir la desigualdad entre individuos, regiones y naciones;
- d) Conservar y aumentar la base de recursos naturales existentes;
- e) Aumentar las posibilidades de adaptación a las perturbaciones naturales y las originadas por el hombre;
- f) Desarrollar tecnologías eficientes y de bajo consumo de recursos, adaptadas a las circunstancias socio ecológicas locales y que no signifiquen riesgos importantes para las generaciones presentes y futuras,
- g) Generar estructuras productivas, de distribución y consumo que brinden los servicios y bienes necesarios, propicien el empleo total y el trabajo con sentido, con la finalidad de mejorar las capacidades de desarrollo de los seres humanos.

En la Estrategia Mundial para la Conservación realizada en 1980, intentando conciliar el crecimiento económico con la preservación ambiental y la biodiversidad, se plantean tres principios fundamentales para la sustentabilidad:

- 1) Mantener los procesos ecológicos y los sistemas vitales de los cuales depende la supervivencia y el desarrollo humano;
- 2) Preservar la diversidad genética, implementando los programas necesarios para la protección y mejora de las plantas cultivadas y cría de animales domésticos y microorganismos, así como buena parte de los progresos científicos y médicos, de la innovación técnica, y de la seguridad de las numerosas industrias que utilizan los recursos vivos.

² Santiago López -Ridaura ,Omar Masera(2013).Objetivos del milenio. Recuperado Mayo 2013,de <http://www.un.org/es/millenniumgoals/>

3) Asegurar el aprovechamiento sostenido de las especies y los ecosistemas que constituyen la base vital de subsistencia para millones de habitantes de comunidades rurales, así como de importantes empresas industriales (peces, fauna silvestre, bosques, pastos).

Así también el Programa³ de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), ofrece tres principios orientados hacia la sustentabilidad:

1) El desarrollo humano sustentable debe conceder prioridad a los seres humanos.

La protección ambiental es vital, pero es un medio para promover el desarrollo humano. Ello implica asegurar la viabilidad a largo plazo de los sistemas de recursos naturales del mundo, incluida su biodiversidad. Toda la vida depende de ellos.

2) Los países en desarrollo no pueden escoger entre crecimiento económico y protección ambiental. El crecimiento no es una opción, es un imperativo. La cuestión no es cuánto crecimiento económico haga falta, sino qué tipo de crecimiento.

3) Cada país habrá de fijar sus propias prioridades ambientales, las cuales diferirán con frecuencia en los países industrializados y en los países en desarrollo.

El desafío que representa para México el uso sustentable de sus recursos naturales, así como la adecuada gestión del entorno ambiental exige, además del capital humano, institucional, financiero y científico del cual dispone el país, de una visión más interconectada y sistémica en la solución de los problemas ambientales mundiales relativos a la biodiversidad, la desertificación y el cambio climático.

Al igual que otros 157 países en el mundo, México ha llevado a cabo un ejercicio de reflexión colectiva acerca del presente y futuro del sector ambiental y de sus recursos naturales. Esto con la finalidad de generar insumos para la formulación de la política ambiental de los años por venir.

Buscando también construir un puente entre los logros alcanzados por la política ambiental implementada en los últimos años y los desafíos que enfrentará México para cumplir con sus compromisos frente a la comunidad internacional y con las generaciones presentes y futuras.

Uno de los principales retos que enfrenta México es incluir al medio ambiente como uno de los elementos de la competitividad y el desarrollo económico y social.

³(2015). Principios de sustentabilidad. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Recuperado Mayo 2013, de <http://www.undp.org/spanish/>

Solo así se puede alcanzar un desarrollo sustentable. Desafortunadamente, los esfuerzos de conservación de los recursos naturales y ecosistemas suelen verse obstaculizados por un círculo vicioso que incluye pobreza, agotamiento de los recursos naturales, deterioro ambiental y más pobreza.

México está aún a tiempo de poner en práctica las medidas necesarias para que todos los proyectos, particularmente los de infraestructura y los del sector productivo, sean compatibles con la protección del ambiente.

Es necesario que el desarrollo de nuevas actividades económicas en regiones rurales y semirurales contribuya a que el ambiente se conserve en las mejores condiciones posibles.

El cuidado del ambiente es un tema que preocupa y ocupa a todos los países. Las consecuencias de modelos de desarrollo, pasados y actuales, que no han tomado en cuenta al medio ambiente, se manifiestan inequívocamente en problemas de orden mundial como el cambio climático. México ha optado por sumarse a los esfuerzos internacionales suscribiendo importantes acuerdos, entre los que destacan el Convenio sobre Diversidad Biológica; la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Protocolo de Kyoto;

el Convenio de Estocolmo, sobre contaminantes orgánicos persistentes; el Protocolo de Montreal, relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono; la Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación; la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres; y los Objetivos del Milenio de la Organización de las Naciones Unidas. Estos acuerdos tienen como propósito hacer de México un participante activo en el desarrollo sustentable.

El cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la lluvia ácida, el incremento de los residuos municipales e industriales, la contaminación del suelo y el agua por metales pesados y desechos tóxicos, la pérdida de recursos forestales, la desertificación, la sobreexplotación de los recursos hídricos y la pérdida de la biodiversidad serían algunas de sus consecuencias.

Por su nivel de desarrollo económico, la gran diversidad de sus recursos naturales, su situación geoestratégica y su acceso a distintos foros internacionales, México se ubica en una posición privilegiada para erigirse como un interlocutor importante para el diálogo y la cooperación entre los países desarrollados y en desarrollo. Asimismo, ha contribuido activamente a la construcción de la agenda ambiental internacional, impulsando los principios de equidad y responsabilidad común.

A la fecha, México ha suscrito cerca de 100 acuerdos internacionales relacionados con el medio ambiente y el desarrollo sustentable, y ha realizado aportaciones importantes tanto al desarrollo de los regímenes internacionales de carácter global, como de aquellos enfocados a la atención de asuntos regionales.

Indudablemente, México enfrenta grandes retos en todos los aspectos de la agenda ambiental. Esta agenda comprende temas fundamentales como la conciliación de la protección del medio ambiente (la mitigación del cambio climático, la reforestación de bosques y selvas, la conservación y uso del agua y del suelo, la preservación de la biodiversidad, el ordenamiento ecológico y la gestión ambiental) con la competitividad de los sectores productivos y con el desarrollo social. Estos temas pueden atenderse desde tres grandes líneas de acción: aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, protección del medio ambiente, y educación y conocimiento para la sustentabilidad ambiental. Frenar el creciente deterioro de los ecosistemas no significa dejar de utilizar los recursos naturales, sino encontrar una mejor manera de aprovecharlos.

Pero ¿Qué entendemos por medio ambiente?

Según la ONU⁴, *el medio ambiente es el conjunto de todas las cosas vivas que nos rodean*. De éste obtenemos agua, comida, combustibles y materias primas que sirven para fabricar las cosas que utilizamos diariamente.

Al abusar o hacer mal uso de los recursos naturales que se obtienen del medio ambiente, lo ponemos en peligro y lo agotamos. El aire y el agua están contaminándose, los bosques están desapareciendo, debido a los incendios y a la explotación excesiva y los animales se van extinguiendo por el exceso de la caza y de la pesca.

Para México, en el caso del agua es importante atender aspectos de protección de las aguas superficiales y de los mantos acuíferos, ya que su disponibilidad por habitante se está reduciendo debido a factores demográficos y climáticos.

Asimismo, muchos de los cuerpos de agua presentan niveles de contaminación importantes, haciéndolos inadecuados para el consumo humano. Es de gran importancia atender la calidad de los cuerpos de agua, ya que su contaminación contribuye al deterioro ambiental.

⁴Medio Ambiente (1992). Naciones Unidas-centro de información Recuperado Mayo 2013, de http://www.cinu.org.mx/ninos/html/onu_n5.htm

1.3 Energía (Fuentes de energía: Renovables y No Renovables)

“La energía no se crea ni se destruye tan solo se transforma”, Ley de la Conservación de la energía

➤ Energía

El término energía tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, transformar o poner en movimiento, en física se define como la capacidad para realizar un trabajo o generar calor, en tecnología y economía se refiere a un recurso natural para extraerla, transformarla, y luego darle un uso industrial o económico.

Es decir, existe una doble acepción del vocablo energía; se puede utilizar, siempre en combinación con algún otro término, tanto para:

- a) designar un tipo específico de energía perfectamente mensurable (cinética, magnética)
- b) indicar el lugar de donde provienen o se almacenan los diferentes tipos de energía (**eólica, geotérmica, solar**).

El interés de dicho trabajo será indicar el lugar de donde provienen los diferentes tipos de energía mismas que serán divididas en energías no renovables y renovables siendo estas últimas tema principal.

✓ Fuentes de Energía (No Renovables)

Son energéticos derivados de las fuentes primarias, y se obtienen en los centros de transformación, con características específicas para su consumo final. Estos productos son el coque, gas licuado de petróleo, gasolinas-naftas, querosenos, diesel, combustóleo, productos no energéticos derivados de los hidrocarburos.

*Coque. Obtenido de la destilación del carbón siderúrgico y del petróleo. Comprende principalmente al coque de carbón y del petróleo.

*Gas licuado de petróleo. Se obtiene de la destilación del petróleo y del tratamiento de los líquidos del gas natural. Se compone de propano, butano, o de una mezcla de ambos.

*Gasolinas y naftas. Combustible líquido liviano, con un rango de ebullición entre 30 y 200 grados centígrados, que se obtiene de la destilación del petróleo y del tratamiento del gas natural. Dentro de este rango se consideran las gasolinas de aviación, automotrices, naturales y las naftas.

*Querosenos. Combustible líquido compuesto por la fracción del petróleo que se destila entre 150 y 300 grados centígrados. Comprende la turbosina y otros querosenos.

*Diesel. Combustible líquido que se obtiene de la destilación del petróleo entre los 200 y 380 grados centígrados. Se utiliza principalmente en motores de combustión interna tipo diesel.

*Combustóleo. Combustible residual de la refinación del petróleo que comprende todos los productos pesados. Se utiliza principalmente en calderas, plantas de generación eléctrica y motores para navegación, y se divide en combustóleo pesado, ligero e intermedio.

*Gas natural. Hidrocarburo gaseoso obtenido como subproducto del gas asociado en plantas de gas y refinerías después de extraer los licuables. Se forma por metano y pequeñas cantidades de etano. Se utiliza como materia prima en la industria petroquímica y como combustible.

Los combustibles fósiles (hidrocarburos y carbón) son y seguirán siendo la principal fuente de energía, como consecuencia de su menor costo y mayores eficiencias en su transformación. Sin embargo, el impacto ambiental por la emisión de gases efecto invernadero como consecuencia de su combustión, pueden limitar su utilización en el futuro.

✓ **Fuentes de Energía (Renovables)**

Se llama energía renovable a la que, administrada en forma adecuada, puede explotarse ilimitadamente ya que su cantidad disponible no disminuyen a medida en que ésta se aprovecha.

Energías renovables establecidas: Aquellas que la humanidad ha utilizado a través de los siglos o bien, su tecnología se encuentra muy bien desarrollada. Ejemplo: las grandes centrales hidroeléctricas.

Nuevas renovables o no convencionales o fuentes alternas: Las que, aún teniendo el potencial para desarrollarlas, no se ha trabajado en ellas para su explotación. Ejemplo: solar, térmica, eólica, mareomotriz, biomasa (en forma de biogás)

➤ **¿Por qué utilizar energías renovables?**

- ✓ Solución a los problemas de cambio climático.
- ✓ Diversificación del mercado energético.
- ✓ Oportunidad de posicionarse estratégicamente en el mercado de una nueva industria energética.

➤ **Ventajas de las renovables:**

- ✓ Debido a su carácter sustentable son capaces de preservar las fuentes.
- ✓ Garantizan la seguridad y diversidad del suministro energético,
- ✓ Proveen servicios de energía virtualmente sin impacto ambiental, contribuyendo a la protección del ecosistema de las generaciones presente y futuras.
- ✓ En los últimos años se ha visto una clara tendencia hacia la baja de los costos en los equipos de energías renovables,
- ✓ Su tecnología en forma natural es de tipo modular, lo que permite ir desarrollando infraestructura en forma gradual y conforme a los requerimientos del mercado. Esta característica modular también le permite ser distribuida en muchos casos.

La aplicación de las energías renovables en México con fines de generación eléctrica se podrán dar en dos ámbitos distintos, pero complementarios:

- ✓ Uno, con instalaciones ligadas a la red eléctrica tanto en forma de grandes centrales generadoras como generación distribuida.
- ✓ El otro, con instalaciones en zonas remotas, alejadas de las líneas de distribución, para la alimentación de pequeñas cargas aisladas tanto en proyectos productivos como de mejoramiento de calidad de vida en el medio rural.

➤ **El uso de las energías renovables representa:**

- ✓ Nuevas fuentes de empleo,
- ✓ Mayores exportaciones,
- ✓ La reactivación de muchas industrias tradicionales, y
- ✓ El fortalecimiento del aparato científico-técnico del país ya que alentaría la vinculación de la industria con los centros de investigación y desarrollo tecnológico.

1.4 Agua

El agua es un recurso natural, esencial para la mayoría de las formas de vida conocidas por el hombre incluso la humana. Pero ¿sabemos de dónde proviene dicho recurso?

El ciclo del agua describe la presencia y el movimiento del agua en la Tierra y sobre ella. El agua de la Tierra está siempre en movimiento y cambiando constantemente de estado: líquido, vapor, hielo y viceversa. El ciclo del agua ha estado ocurriendo por billones de años, y la vida sobre la Tierra depende de él; este planeta sería un sitio inhóspito si el ciclo del agua no tuviese lugar.

El ciclo del agua no se inicia en un lugar específico, pero para esta explicación asumimos que comienza en los océanos.

El sol, que dirige el ciclo del agua, calienta el agua de los océanos, la cual se evapora hacia el aire como vapor de agua. Corrientes ascendentes de aire llevan el vapor a las capas superiores de la atmósfera, donde la menor temperatura causa que el vapor de agua se condense y forme las nubes.

Las corrientes de aire mueven las nubes sobre el globo, las partículas de nube colisionan, crecen y caen en forma de precipitación. Parte de esta precipitación cae en forma de nieve, y se acumula en capas de hielo y en los glaciares, los cuales pueden almacenar agua congelada por millones de años. En los climas más cálidos, la nieve acumulada se funde y derrite cuando llega la primavera. La nieve derretida corre sobre la superficie del terreno como agua de deshielo, y a veces provoca inundaciones.

La mayor parte de la precipitación cae en los océanos o sobre la tierra, donde, debido a la gravedad, corre sobre la superficie como corriente superficial.

Una parte de esta corriente alcanza los ríos en las depresiones del terreno; en la corriente de los ríos el agua se transporta de vuelta a los océanos. El agua de corriente y el agua subterránea que brota hacia la superficie se acumula y almacena en los lagos de agua dulce.

No toda el agua de lluvia fluye hacia los ríos: una gran parte es absorbida por el suelo como infiltración. Parte de esta agua permanece en las capas superiores del suelo y vuelve a los cuerpos de agua y a los océanos como descarga de agua subterránea. Otra parte del agua subterránea encuentra aperturas en la superficie terrestre y emerge como manantiales de agua dulce. El agua subterránea que se encuentra a poca profundidad es tomada por las raíces de las plantas y transpirada a través de la superficie de las hojas, regresando a la atmósfera. Otra parte del agua infiltrada alcanza las capas más profundas de suelo y recarga los acuíferos, que almacenan grandes cantidades de agua dulce por largos períodos de tiempo.

A lo largo del tiempo, esta agua continua moviéndose, y parte de ella retornará a los océanos, donde el ciclo del agua se cierra para comenzar nuevamente. (Ver figura 1.1)



Figura 1.1 "Ciclo del agua,2006",
USGS(<http://ga.water.usgs.gov/edu/wcpagesize/spanish.html>)

Actualmente la problemática de la escasez de agua es un problema a nivel mundial que cada día ocupa más la atención de científicos, técnicos, políticos y en general a muchos habitantes del planeta.

Debido a que sólo muy poco del agua es utilizable para el consumo del hombre el **97% del agua es salada** y el **3% es agua dulce**, de este pequeño porcentaje la mayoría se encuentra en los polos y no se puede aprovechar, así solo el 1 % está disponible para el consumo humano.

Debido a que las aguas están en movimiento constante (se evaporan, se condensan, se infiltran, son arrastradas por los ríos al mar o los hielos de los polos se rompen, migran, se funden), conviene considerar que las cifras presentadas arriba tienen un margen de error de 10 a 15%.

La agricultura es la actividad humana que más agua consume en el planeta 70% del agua dulce (FAO⁵), el segundo gran consumidor de agua es la industria (el sector eléctrico y municipal con 22%), responsable de la mayor parte de la contaminación de los cuerpos de agua dulce, y se calcula que tan sólo 8% del agua se destina al uso doméstico.

Se muestra en la siguiente tabla la distribución del agua en la superficie terrestre (Ver *tabla 1.1*)

Origen del agua	Volumen del agua en kilómetros cúbicos	Porcentaje de agua total
Océanos	1,321,000,000	97.24%
Capas de hielo, Glaciares	29,200,000	2.14%
Agua subterránea	8,340,000	0.61%
Lagos de agua dulce	125,000	0.009%
Mares tierra adentro	104,000	0.008%
Humedad de la tierra	66,700	0.005%
Atmósfera	12,900	0.001%
Ríos	1,250	0.0001%
Volumen total de agua	1,360,000,000	100%

Tabla 1.1 Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823. Recuperado Mayo 2013.

La principal fuente de origen proviene de los océanos donde el agua es básicamente salada y para el resto de las fuentes de origen el agua puede ser salada, dulce o salobre.

⁵FAO :2013 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación(www.fao.org)

➤ El agua en México

México es un país semiárido, el 67% de las lluvias mexicanas cae en los meses de junio a septiembre. En promedio, el país recibe unos 711 mm de lluvia cada año (1 mm de lluvia = 1 lt/m²). No es mucho comparado con otros países. En el norte, México es muy ancho pero con poca lluvia (árida o semiárida); en el sur es angosto, pero llueve más. El 50% de la superficie la tienen los estados del norte, y ahí llueve tan sólo 25% del total.

En la parte angosta del país, que ocupa 27.5% del territorio, cae la mayor parte del agua de lluvia 49.6%, esto es en los estados del sur-sureste (Chiapas, Oaxaca, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Veracruz y Tabasco). Entre los estados más secos está **Baja California** (*Estado del cual se hará referencia a lo largo de la investigación*) donde tan sólo llueve un promedio de 199 mm por año. En contraste está Tabasco, que recibe 2588 mm de agua cada año⁶.

1.5 Relación Agua y Energía

La energía se manifiesta de muchas formas: luminosa, calorífica, eólica, magnética, gravitatoria, nuclear, cinética, bioquímica, química, mecánica, eléctrica. Esta última, la eléctrica, ha brindado tal versatilidad en sus usos y aplicaciones que se ha vuelto fundamental en la sociedad moderna.

Hoy, la electricidad tiene que ver en casi todos los procesos de producción y en la vida cotidiana de la mayoría de las personas.

La producción constante de energía eléctrica es indispensable y el agua está involucrada íntimamente en casi todos los métodos para obtenerla.

El agua básicamente se utiliza para hacer girar los magnetos, los dinamos, los generadores. La fuerza de las corrientes de agua líquida se transforma, mediante turbinas, en energía mecánica que hace girar los generadores; o la presión del agua como vapor se controla para hacer girar turbinas. El primer tipo de plantas generadoras son las hidroeléctricas.

Generalmente están relacionadas con presas almacenadoras de agua que poco a poco van liberando agua por sus compuertas; la energía de la corriente del agua hace girar los generadores.

⁶ 2013 Comisión Nacional de Agua Recuperado Mayo 2013, www.conagua.gob.mx

A continuación se presenta el estimado total del suministro eléctrico por energía hidroeléctrica en varios países:

Noruega	99%
Nueva Zelanda	75%
Países en vías de desarrollo	50%
China	25%
Estados Unidos	13%

Tabla 1.2 “1998-2013, Abastecimiento energético por hidroeléctricas, recuperado Mayo 2013
www.lenntech.es”

En el caso específico de México la capacidad instalada de hidroeléctricas es del 22% del total de la energía eléctrica producida.⁷

Otra manera de relacionar la energía y el agua es por medio de la desalación de agua de mar, la cual se utiliza cuando la alternativa de implementar la misma es más viable que otras alternativas de obtención de agua potable. Además, los recursos del agua de mar son abundantes en relación a los del agua dulce; sin embargo, la desalación del agua de mar siempre resultó costosa debido a la utilización de combustibles fósiles que suelen tener altos costos además de contaminar el medio ambiente. Quizá las excepciones se encuentran en zonas desérticas como la región del Golfo Pérsico que es muy rica en hidrocarburos pero tiene muy pocas reservas de agua dulce, ríos o lagos y es una región de pocas lluvias, lo que facilitó a los países de esta región utilizar plantas desalinizadoras de agua de mar para obtener agua potable.

Una de las medidas aplicadas es utilizar tecnologías de desalación que se alimentan de energías renovables; sin embargo, no todos los países con acceso a agua marina tienen reservas de combustibles fósiles, y ello da un motivo más para apreciar el valor de incorporar energías renovables en este proceso.

⁷ “2010 La energía renovable en CFE, elemento fundamental para un desarrollo sustentable. Recuperado Abril 2013 (www.umai.org.mx)”

A continuación se mencionan las diferentes formas de obtención de energías renovables para el funcionamiento de las tecnologías de desalación.

➤ **Utilización de energía solar**

Desde hace un par de décadas se han venido difundiendo el uso de plantas desalinizadoras que utilizan energía solar y eólica, y otras que emplean como fuentes de energía hidrocarburos y la energía solar de forma combinada o complementaria.

Entre los países del Golfo Pérsico que cuentan con plantas de desalinización que utilizan la energía solar se encuentran los Emiratos Árabes Unidos , que poseen una planta de capacidad de desalinización de 120m³/día ;Kuwait también cuenta con una planta que tiene capacidad de 100m³/día.

Existen varios tipos de tecnologías que utilizan energía solar pero difiere en algunas características técnicas, entre éstas se tiene la que usa energía solar para un sistema de destilación y la de celdas fotovoltaicas.

La primera consta de un colector solar y un destilador que calienta el agua y la separa de la sal, el vapor de agua formado es capturado por el colector y este se conduce a un recipiente donde se almacena el agua tratada (se denomina también desalación solar directa).

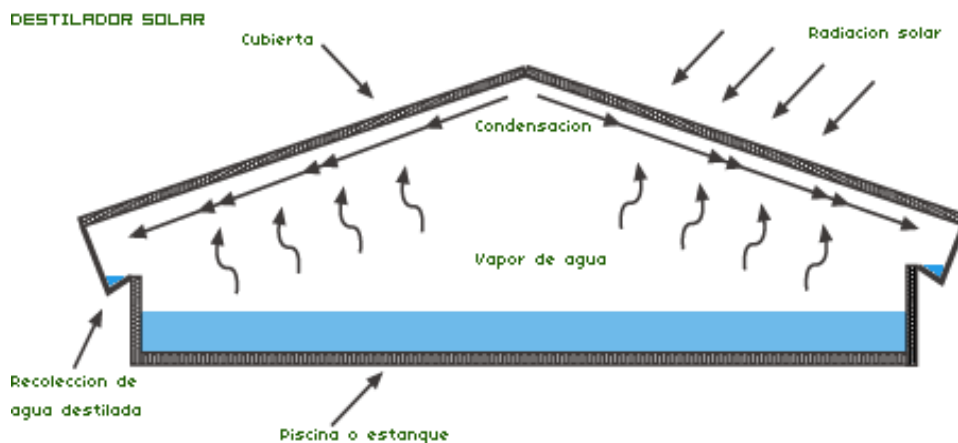


Figura 1.2 “2006, esquema representativo desalación mediante energía solar térmica directa, recuperado Mayo 2013 , <http://news.soliclima.com>)

El colector dota de calor al sistema para que éste pueda realizar el proceso de destilación. En algunos casos, debido a que la energía solar solo se obtiene de día, está se combina con la energía proveniente de combustibles fósiles.

En algunos casos para que el proceso se vuelva más costo-efectivo se requiere la utilización de energías mixtas. Algunos ejemplos de plantas de desalinización solar indirecta existentes en el mundo son la de La Paz, Baja California Sur, en México.

Otra alternativa tecnológica que utiliza como fuente de energía el sol es las celdas fotovoltaicas. En esta tecnología la energía solar es directamente transformada en electricidad mediante la conversión fotovoltaica. Esta tecnología es eficaz, su principal problema es que la fabricación de las celdas fotovoltaicas tiene un costo alto.

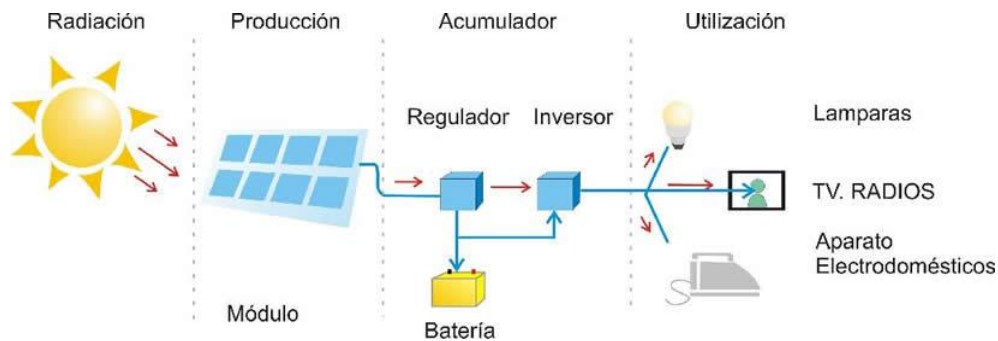


Figura 1.3 “2012, Esquema general de un sistema fotovoltaico, recuperado 2013, <http://www.iie.org.mx>”

Además, está susceptible al tamaño de la planta para que sea factible su puesta en marcha (regularmente en plantas grandes). A pesar de esto, existen plantas de este tipo en Arabia Saudita, Canadá y Portugal y México cuenta con proyectos para utilización de este sistema. La principal ventaja de utilizar esta opción tecnológica es que reduce la dependencia de la utilización de combustibles fósiles.

➤ **Utilización de energía geotérmica**

La utilización de energía geotérmica para una planta de desalación es viable desde un punto de vista técnico y económico. Una vez realizada la inversión inicial la energía geotérmica presenta precios bajos para su funcionamiento, aunque las aguas termales deben ser temperaturas menores a 100 °C para facilitar su manejo. En Túnez se encuentra instalada una planta que utiliza energía geotérmica.

En el caso de México solo el 1.9 % del total de la energía es mediante energía geotérmica⁸ y en la actualidad operan 5 plantas con una capacidad de 958 MW⁹

⁸ “2010, La energía renovable en CFE, elemento fundamental para un desarrollo sustentable, recuperado enero 2013 <http://www.umai.org.mx>)

➤ **Utilización de energía eólica**

La utilización de energía eólica para procesos de desalación es menos popular que el uso de energía solar para el mismo fin. A pesar de ello la utilización de este tipo de energía renovable va en aumento. Asimismo, también existen algunas plantas que funcionan con tecnologías mixtas de energía solar y eólica. Al igual que la utilización de tecnologías basadas en energía solar, la energía eólica también requiere que la región analizada cuente con las condiciones suficientes para que sea costo-efectiva.

Se ha demostrado que la viabilidad de una planta de desalación que utilice energía eólica no es algo lejano. Inclusive, explican que se tienen dos opciones tecnológicas para la utilización de energía eólica. Por otro lado, en el número 153 de la revista de la revista "Desalination", los autores demostraron que la viabilidad de una planta de desalación en Libia que utilice una tecnología mixta de energía eólica y solar es casi igual de viable que una que sólo utilizar combustibles fósiles.

➤ **Utilización de biomasa**

La utilización de energía proveniente de biomasa para una planta de desalación es normalmente inviable debido a varias razones. Una de éstas es que los lugares donde normalmente se construyen plantas de desalación se caracterizan por tener muy poca humedad (como las desérticas) y por tanto muy poca vegetación, lo que no permite la existencia de árboles o arbustos, materia prima para la biomasa.

Con frecuencia se tiene la situación de que saldría más cara plantar árboles y mantenerlos para su posterior uso como biomasa, que poner en funcionamiento una planta de desalación que funcione con energías renovables o con combustibles fósiles.

➤ **Utilización de energía maremotriz**

La utilización de la energía maremotriz se basa en el poder de las ondas marinas. Se han hecho revisiones de sus aplicaciones, por ejemplo, en "Wave energy in Europe:

⁹ " 2010,La energía renovable en CFE, elemento fundamental para un desarrollo sustentable ,recuperado enero 2013 <http://www.umai.org.mx>,2010)

Current Status and Perspective” los autores hacen una revisión del presente y de las perspectivas de este tipo de energía en la desalación de agua marina en Europa.

El problema principal que tiene es su alto costo de inversión inicial, sin embargo en “Production of desalinated water using ocean thermal energy” se demuestra que un sistema mixto de energía maremotriz y energía térmica proveniente del océano es técnica y económicamente viable.

1.6 Conclusiones

Hoy en día el tema del medio ambiente es un tema que a todos nos compete como sociedad, y mucho más aún el tema del abastecimiento de agua en todos los sectores. El agua a pesar de existir en grandes proporciones poco porcentaje es aprovechable si a esto agregamos que hoy en día los niveles de crecimiento poblacional demandan de un mayor abasto de dicho recurso para satisfacer las necesidades básicas y necesarias de todo ser humano.

Es por eso que hoy en día se buscan maneras de tratar de aprovechar lo más posible dicho recurso y encontrar nuevas tecnologías para el aprovechamiento del agua que en su estado natural no es funcional para las necesidades humanas.

La relación agua energía cobra un valor importante en el desarrollo de las tecnologías de desalación de agua, puesto que todo proceso conlleva un aporte de energía para llevar a cabo el proceso.

2.-Caracterización de las necesidades y recursos hídricos de la región noroeste

2.1 Introducción

El Noroeste de México es una región , comprendida por los Estados de **Durango, Sinaloa, Chihuahua, Sonora, Baja California Sur y Baja California Norte .**

La parte noroeste de México está desarrollándose y creciendo muy rápidamente un ejemplo de ello es la industria, por lo que ha aumentado el consumo de agua en esa zona donde los recursos de agua están bastante explotados y no está disponible en grandes cantidades. Por lo que la producción de agua potable por medio de la desalación está tendiendo a ser un tema muy importante.

Por otro lado, ésta región tiene muchos recursos renovables que pueden ser usados para desalar agua de mar y así obtener un costo menor que los existentes.

Tal es el caso de la Península de Baja California en donde, dada su geología y vulcanismo, existen abundantes manantiales de agua caliente. Muchos de ellos están en el mar muy cercanos a la costa. A muy poca profundidad se han medido temperaturas de más de 90°C. Es evidente que se puede aprovechar esta agua de mar caliente para desalarla o utilizarla como fuente de calor, con un notable ahorro de energía, por alguno de los métodos de destilación.

Como se mencionó en el capítulo anterior la relación agua energía son importantes para llevar a cabo cualquier proceso de destilación dado que estos mismos son el principio y el fin de la desalación: esto quiere decir para comenzar el proceso necesitamos de una fuente (agua de mar o salobre) y de una fuente de energía para llevar a cabo la desalación.

Es por eso que el estudio y evaluación de tecnologías de desalación de agua quedan limitados a solo 4 estados de la región noroeste debido a la cercanía con el mar (Golfo de California y el Océano Pacífico): **Baja California Norte, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa.**

2.2. Población

A continuación se presentan los datos estadísticos obtenidos en el censo poblacional realizado en el 2010 por INEGI¹⁰ de la población de los estados de interés, esto con el fin de establecer más adelante una relación de cantidad de población y cantidad de abastecimiento de agua per cápita.

❖ Sinaloa

 Población total, 2010	2,767,761
 Hogares, 2010	709,960

*Tabla 2.1 “2013, Estadística poblacional para el estado de Sinaloa, recuperado 2013 Censo Poblacional INEGI, www.inegi.org.mx)

De acuerdo con el censo de 2010, Sinaloa es el hogar de 2, 767,761 habitantes, el 61% de los cuales residen en la ciudad capital de Culiacán y los municipios de Mazatlán y Ahome.

Las principales actividades productivas de Sinaloa son la agricultura, la pesca, la ganadería, el comercio y la industria. Los productos obtenidos a partir de estas actividades se utilizan para el consumo local y nacional. La agricultura produce tomates, frijoles, maíz, trigo, caña de azúcar y la calabaza. Sinaloa es el estado más importante en cuanto a la agricultura.

❖ Sonora

 Población total, 2010	2,662,480
 Hogares, 2010	705,668

*Tabla 2.2 “2013, Estadística poblacional para el estado de Sonora, recuperado 2013 Censo Poblacional INEGI, www.inegi.org.mx)

El estado de Sonora está situado en el noroeste de México, sus costas son bañadas por el Mar de Cortés o Golfo de California. Sonora se encuentra así vinculado a la denominada cuenca del Pacífico que ofrece amplias posibilidades de desarrollo económico y múltiples retos y oportunidades de aprovechamiento sustentable de sus recursos naturales.

¹⁰ INEGI: “2013, Instituto Nacional de Estadística y Geografía ,recuperado 2013, www.inegi.org.mx”

Sonora se encuentra situada en una franja climática del hemisferio norte en la que se han formado diversos desiertos en torno del globo terráqueo.

Es el segundo más grande del país con una extensión territorial de 184,934 km² que representa el 9.2% de la superficie total del país.


❖ Baja California Norte

 Población total, 2010	3,155,070
 Hogares, 2010	858,676

*Tabla 2.3 "2013, Estadística poblacional para el estado de Baja California Norte, recuperado 2013 Censo Poblacional INEGI, www.inegi.org.mx)

El estado tiene una población de 3,155,070 mucho más que la baja densidad de la población de Baja California Sur. Más del 75% de la población vive en la ciudad capital, Mexicali, Ensenada y Tijuana estos dos últimos estados con mayor cercanía al Océano Pacífico.

❖ Baja California Sur

 Población total, 2010	637,026
 Hogares, 2010	175,046

*Tabla 2.4 "2013, Estadística poblacional para el estado de Baja California Sur, recuperado 2013 Censo Poblacional INEGI, www.inegi.org.mx)

Baja California Sur es el más pequeño en toda la república por la población que representa, con 3 ciudades importantes Cabo San Lucas , San José del Cabo y su ciudad más grande y capital La Paz.

2.3.-Precipitación media

De los 653¹¹ acuíferos existentes en el país 96 están sometidos a sobreexplotación, de estos 17 ya presentan problemas de intrusión salina. El país está perdiendo alrededor de 8,000 millones de m³ al año en aguas subterráneas por sobreexplotación. El norte del país es la zona más afectada.

El factor poblacional juega un papel fundamental respecto a la disponibilidad de agua dulce en el futuro. Ciudades con mayor explotación sufren más de lo que llamaremos estrés hídrico, dicho fenómeno sucede cuando la demanda de agua es más grande que la cantidad disponible durante un periodo determinado de tiempo o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad.

De acuerdo a “The World’s water 2000-2001” la dotación mínima de agua para no sufrir un estrés hídrico se muestra en la siguiente tabla:

Concepto	Unidades [litro/habitante/día]
Bebida	5
Servicios de saneamiento	25
Higiene	15
Preparación de alimentos	10
Total	55

Tabla 2.5 “2000-2011 ,Dotación mínima de agua, valor mínimo para la vida en condiciones climáticas moderadas y asociadas a una actividad vital media. Se excluye el cultivo de alimentos. The world’s water 2000-2001.Pacific Institute.

Tomaremos el valor total de 55 [lt/hab/día] = 0.055[m³/habitante/día]= **20.075[m³/hab/año]**¹² de referencia para encontrar el estrés hídrico presente en las regiones de interés.

¹¹ “2002,Desalación del agua, una alternativa para resolver la demanda de agua potable en el sur de la república mexicana, recuperado 2013”.

¹² “2000,Global Water Supply and Sanitation Assessment Report,recuperado 2013

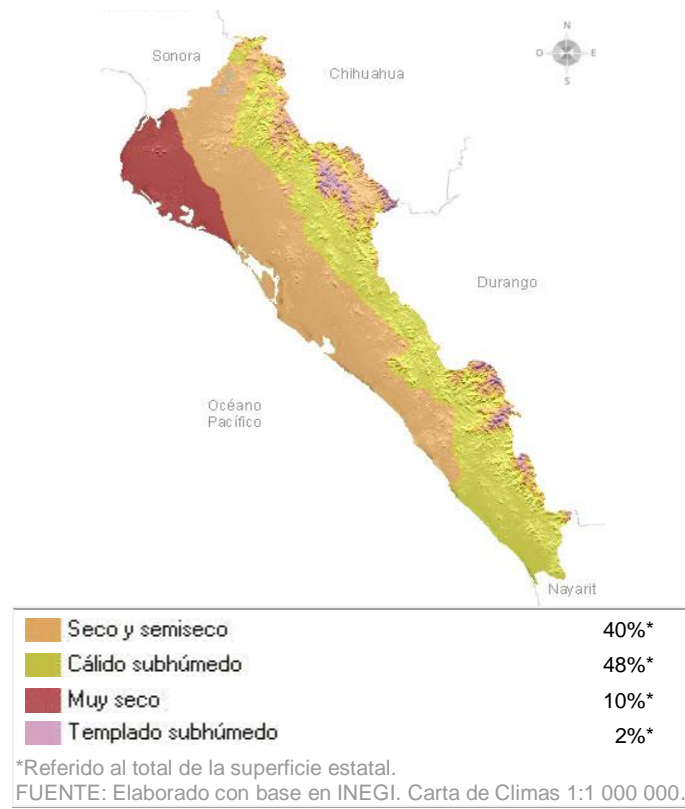
,http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/alarchil/MASTER%20ECO/GENERALIDAS%20MUNDIALES%20AGUA.pdf”

➤ **Sinaloa**

El 48% del estado presenta clima cálido subhúmedo localizado en una franja noreste-sureste que abarca desde Choix hasta los límites con Nayarit, el 40% es clima seco y semiseco presentes en una franja que va desde El Fuerte hasta Mazatlán, el 10% es muy seco y se localiza en la zona de Los Mochis, el restante 2% es clima templado subhúmedo localizado en las partes altas de la Sierra Madre Occidental.

La temperatura media anual del estado es alrededor de 25°C, las temperaturas mínimas promedio son alrededor de 10.5°C en el mes de enero y las máximas promedio pueden ser mayores a 36°C durante los meses de mayo a julio.

Las lluvias se presentan en el verano durante los meses de julio a septiembre, la precipitación media del estado es de 790 mm anuales. Sinaloa es muy importante como productor agrícola nacional, las principales áreas de cultivo se encuentran en los climas secos y semisecos, por lo que requiere riego.



*Figura 2.1 “2005, Estadística de precipitación media para el estado de Sinaloa ,recuperado 2013 INEGI, www.inegi.org.mx)

El estado cuenta con 636,953¹³ viviendas particulares que disponen de agua de la red pública en el ámbito de la vivienda, donde los principales asentamientos de viviendas se encuentra en Culiacán la capital del estado y Mazatlán regido por un clima seco y se-miseco principalmente.

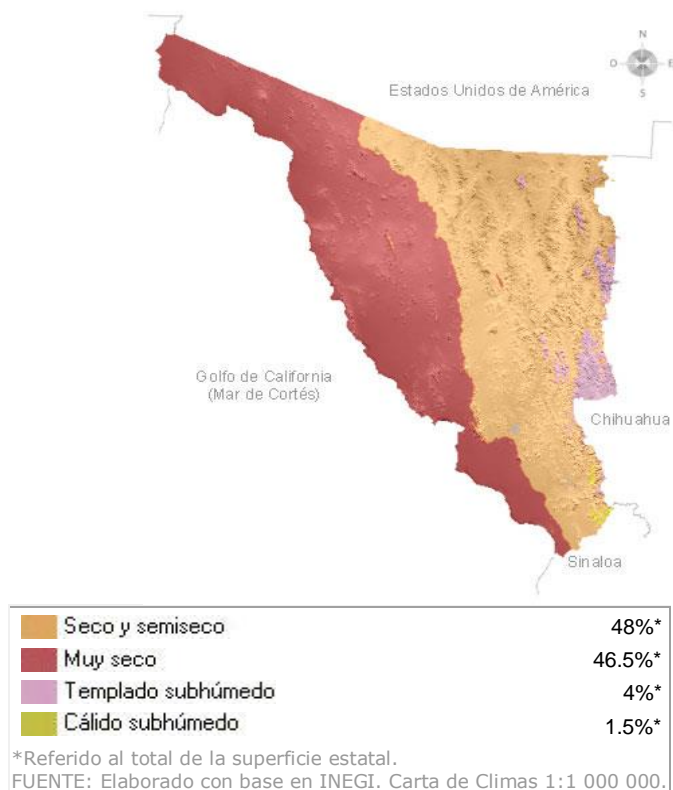
➤ **Sonora**

El 48% del estado presenta clima seco y semiseco localizado en la Sierra Madre Occidental, el 46.5% presenta clima muy seco, localizado en las Llanuras Costera del Golfo y Sonorense 4% es templado subhúmedo se encuentra hacia el este del estado y el restante 1.5% presenta clima cálido subhúmedo localizado hacia el sureste.

La temperatura media anual es alrededor de 22°C, la temperatura máxima promedio es de 38°C y se presenta en los meses de junio y julio, la temperatura mínima promedio es de 5°C y se presenta en el mes de enero.

¹³ “2010,Censo Nacional de Población y Vivienda , recuperado 2013, INEGI www.inegi.org.mx”

La precipitación media estatal es de 450 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de julio y agosto. El clima en el estado es una limitante para la agricultura.



*Figura 2.2 "2005, Estadística de precipitación media para el estado de Sonora, recuperado 2013, INEGI www.inegi.org.mx)

El estado cuenta con 662,273¹⁴ viviendas particulares que disponen de agua de la red pública en el ámbito de la vivienda, donde Hermosillo su ciudad más grande y capital tiene un clima predominante de muy seco.

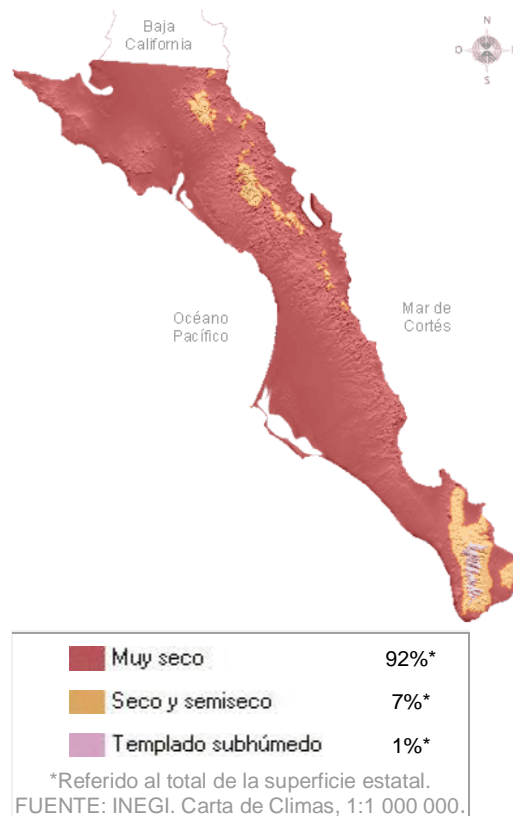
➤ **Baja California Sur**

En el estado de Baja California Sur, predomina el clima Muy seco (92%). Se encuentra también clima Seco y semiseco (7%) y Templado subhúmedo (1 %) en la región de la sierra de La Laguna. La temperatura media anual es 18 a 22°C.

La temperatura promedio más alta, de 35°C, se presenta en los meses de julio y agosto, la más baja es de 9°C y se registra en enero.

Las lluvias son muy escasas y se presentan durante el verano, la precipitación total anual promedio en el estado es menor a 200 mm. Debido a la escasa precipitación la poca actividad agrícola que se practica es de riego.

¹⁴ "2010, Censo Nacional de Población y Vivienda, recuperado 2013, INEGI www.inegi.org.mx"



*Figura 2.3 “2005, Estadística de precipitación media para el estado de Baja California Sur, recuperado 2013 INEGI www.inegi.org.mx)

El estado cuenta con 153,073 viviendas particulares que disponen de agua de la red pública en el ámbito de la vivienda, su ciudad más grande y capital es la Paz con un clima predominante de muy seco.

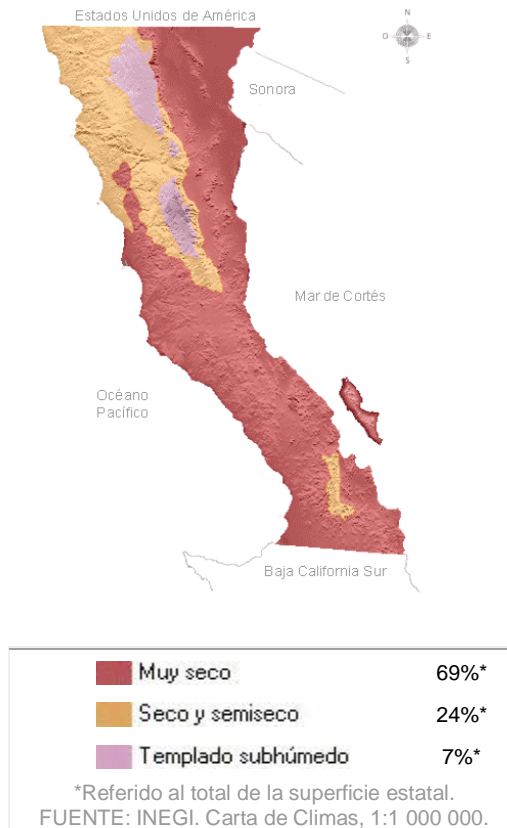
➤ **Baja California Norte**

Predomina el clima Muy seco (69%), aunque también se encuentra el Seco (24 %). Las sierras de Juárez y San Pedro Mártir presentan un clima Templado sub-húmedo y semifrío (7%). La temperatura media anual es de 18 a 19 °C.

Las temperaturas más altas, mayores de 30°C, se presentan en los meses de mayo a septiembre y la más baja, alrededor de 5°C, en el mes de enero.

Las lluvias son muy escasas, alrededor de 200 mm de precipitación total anual. En la región noroeste del estado se encuentran los climas templado y seco con lluvias de invierno, condición muy particular, ya que en el resto del país las lluvias son en verano.

El municipio de Mexicali tiene uno de los registros de precipitación total anual más baja de todo el país, pues es menor a los 50 mm.



*Figura 2.4 “2005, Estadística de precipitación media para el estado de Baja California Norte, recuperado 2013, INEGI www.inegi.org.mx”

El estado cuenta con 807,329 viviendas particulares que disponen de agua de la red pública en el ámbito de la vivienda, su ciudad más importante y capital es Mexicali con un clima predominante de muy seco.

2.4.-Presas principales

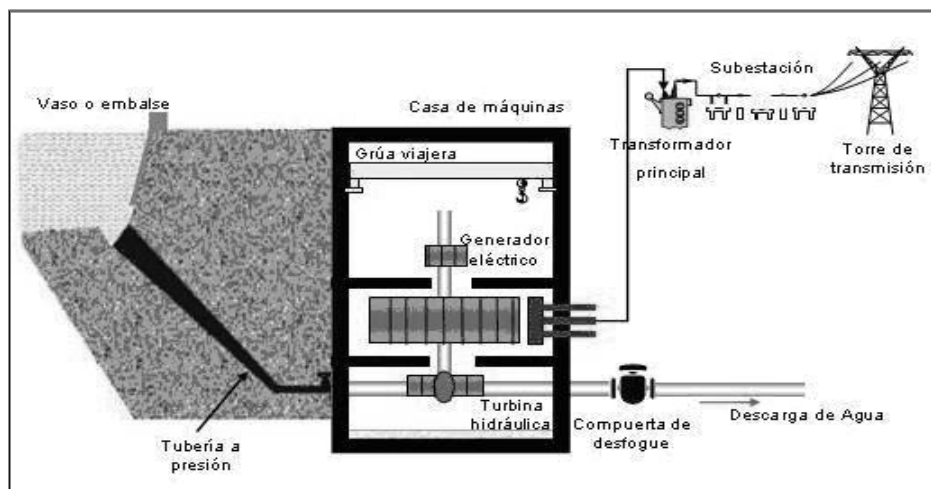
En ingeniería se denomina presa a una barrera fabricada con piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río o arroyo, con la finalidad de embalsar el agua en el cauce fluvial para su posterior aprovechamiento en abastecimiento o regadío, para elevar su nivel con el objetivo de derivarla a canalizaciones de riego, para evitar inundaciones aguas abajo de la presa o para la producción de energía mecánica. La energía mecánica puede aprovecharse directamente, como en los antiguos molinos, o de forma indirecta para producir energía eléctrica, como se hace en las centrales hidroeléctricas.

Las centrales hidroeléctricas utilizan la energía potencial del agua como fuente primaria para generar electricidad. Estas plantas se localizan en sitios en donde existe una diferencia de altura entre la central eléctrica y el suministro de agua. De esta forma, la energía potencial del agua se convierte en energía cinética que es utilizada para impulsar el rodete de la turbina y hacerla girar para producir energía mecánica. Acoplado a la flecha de la turbina se encuentra el generador, que finalmente convierte la energía mecánica en eléctrica.

Una característica importante es la imposibilidad de su estandarización, debido a la heterogeneidad de los lugares en donde se dispone de aprovechamiento hidráulico, dando lugar a una gran variedad de diseños, métodos constructivos, tamaños y costos de inversión.

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar de acuerdo con dos diferentes criterios fundamentales:

1. Por su tipo de embalse.
2. Por la altura de la caída del agua.

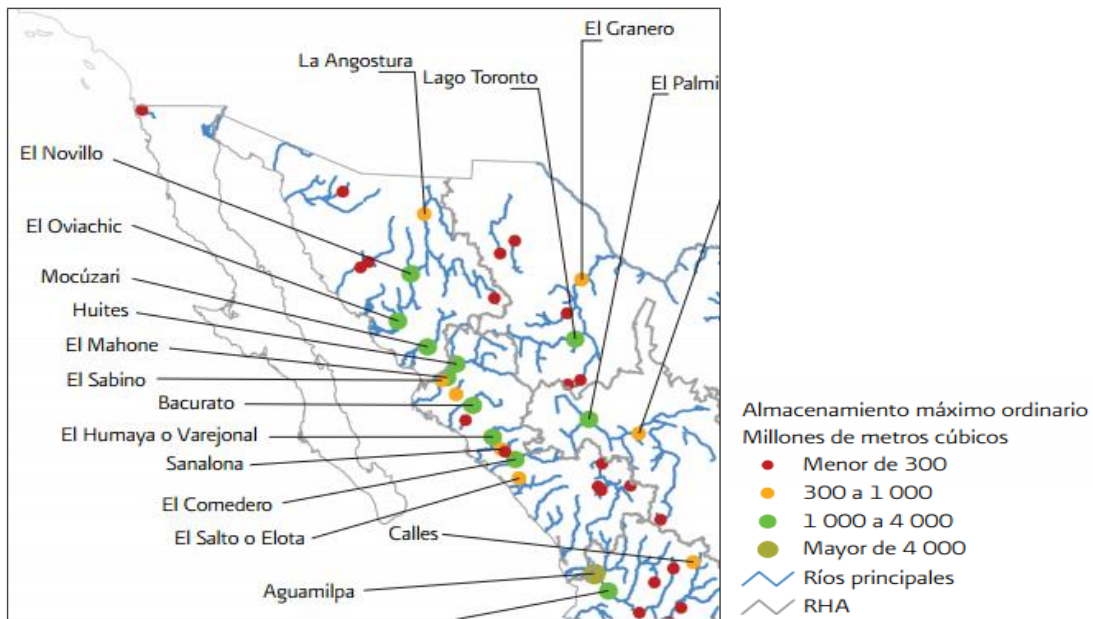


*Figura 2.5 "2013,esquema representativo de una central hidroeléctrica, recuperado 2013 CFE
www.cfe.gob.mx"

❖ **Situación actual de las presas en México**

En México existen más de 4 mil 462 presas, 667 de ellas están consideradas como grandes, por su capacidad de almacenamiento.




En nuestro país, la principal función de las presas es la generación de energía, en menor medida se utiliza para actividades agrícolas, sobre todo en el norte de la República.



*Figura 2.6 “2013, Ubicación de las principales presas en la región noroeste por almacenamiento máximo recuperado 2013, CONAGUA www.conagua.gob.mx”

Las presas enlistadas se encuentran mayormente ubicadas en el estado de Sinaloa y Sonora, en el Estado de Baja California Sur y Norte son pocas las presas o proyectos que existen donde su principal función no es la generación de energía eléctrica, solo el control y manejo de las aguas.

➤ **Baja California**




 Viviendas particulares que disponen de energía eléctrica, 2010	840,665
 Volumen suministrado anual de agua potable (Millones de metros cúbicos), 2009	202
 Capacidad instalada de las plantas potabilizadoras en operación (Litros por segundo), 2009	9,037

*Tabla 2.6 “2010, Estadísticas cobertura agua potable para el estado de Baja California, INEGI www.inegi.org.mx”

A partir de los datos obtenidos se puede conocer la cantidad de agua per cápita

$$\left(\frac{202\,000\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}}{3\,155\,070 \text{ hab}} \right) = 64.023 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} \cdot \text{año}}$$

➤ **Baja California Sur**




 Viviendas particulares que disponen de energía eléctrica, 2010	168,603
 Volumen suministrado anual de agua potable (Millones de metros cúbicos), 2009	6
 Capacidad instalada de las plantas potabilizadoras en operación (Litros por segundo), 2009	215

*Tabla 2.7 “2010, Estadísticas cobertura agua potable para el estado de Baja California Sur ,recuperado 2013, INEGI www.inegi.org.mx)

A partir de los datos obtenidos conoceremos la cantidad de agua per cápita

$$\frac{6\,000\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}}{637\,026 \text{ hab}} = 9.41 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} \cdot \text{año}}$$

➤ **Sonora**




 Viviendas particulares que disponen de energía eléctrica, 2010	689,120
 Volumen suministrado anual de agua potable (Millones de metros cúbicos), 2009	74
 Capacidad instalada de las plantas potabilizadoras en operación (Litros por segundo), 2009	2,868

*Tabla 2.8 “2010, Estadísticas cobertura agua potable para el estado de Sonora, recuperado 2013 INEGI www.inegi.org.mx”

A partir de los datos obtenidos conoceremos la cantidad de agua per-cápita

$$\frac{74\,000\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}}{2\,666\,480 \text{ hab}} = 27.75 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} \cdot \text{año}}$$

➤ **Sinaloa**

 Viviendas particulares que disponen de energía eléctrica, 2010	698,624
 Volumen suministrado anual de agua potable (Millones de metros cúbicos), 2009	244
 Capacidad instalada de las plantas potabilizadoras en operación (Litros por segundo), 2009	9,567

*Tabla 2.9 “2010 , Estadísticas cobertura agua potable para el estado de Sinaloa, recuperado 2013 INEGI www.inegi.org.mx)

A partir de los datos obtenidos conoceremos la cantidad de agua per-cápita

$$\frac{244\,000\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}}{2\,767\,761 \text{ hab}} = 88.15 \frac{\text{m}^3}{\text{hab} \cdot \text{año}}$$

En resumen el estado con menor cantidad de precipitación per cápita es Baja California sur como se puede observar en la tabla mostrada a continuación:

Estado	Precipitación per cápita [$\frac{\text{m}^3}{\text{hab} \cdot \text{año}}$]
Baja California Norte	64.023
Baja California Sur	9.41
Sonora	27.75
Sinaloa	88.15

Tabla 2.10 “Resumen precipitación per cápita de la región de interés”

Lo cual demuestra una necesidad inminente de la búsqueda de nuevas formas de abastecimiento de agua para la región de Baja California sur.

2.5.- Costo de la energía eléctrica por tipo de tecnología

La Energía Eléctrica en México se considera estratégico para la soberanía nacional. Por lo tanto, hay ciertas limitaciones para la participación privada y se permite a las empresas extranjeras operar en el país sólo a través de contratos de servicios específicos. Según establece la Constitución, el sector eléctrico es de propiedad federal y es la Comisión Federal de Electricidad (CFE) quien controla esencialmente todo el sector.

A continuación se presentan las tarifas vigentes en todos los sectores.

Concepto	Total(Pesos/Kilowatt-hora)
*Doméstico	
Tarifa	1.22
*Comercial	
Tarifa	2.64
*Servicios	
Tarifa	1.93
*Agrícola	
Tarifa	0.51
*Industria	
Tarifa	1.37
*Industria mediana	
Tarifa	1.5
*Gran Industria	
Tarifa	1.15

Tabla 2.11 “2012,Tarifas y relación precio-costo de energía eléctrica por sector de consumo (el total se refiere al precio medio en kilowatts por hora),recuperado 2013, CFE www.cfe.gob.mx”

En los últimos años se han registrado grandes fluctuaciones en el precio de los energéticos, particularmente en el gas natural. También se ha experimentado un aumento continuo en las tarifas eléctricas. Lo anterior impacta la competitividad de las empresas que hacen un uso intensivo de la energía. El escenario descrito obliga a buscar alternativas confiables para el suministro energético, tales como combustibles alternativos, generación propia de la electricidad por parte de las empresas, privilegiando los esquemas de cogeneración, y la implementación de medidas de ahorro y uso eficiente de energía.

En la siguiente tabla se presenta el costo de generación por tecnología, dicho costo esta dado en pesos por kWh.

Tecnología	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Turbo Gas y Ciclo Combinado	0.73	1.02	1.07	1.16	1.07	1.06	1.38	0.87	0.90	0.94
Diesel	2.43	3.02	3.61	6.91	6.07	4.81	7.85	8.12	15.91	16.58
Vapor (combustoleo)	0.45	0.62	0.60	0.78	1.02	1.06	1.58	1.50	1.79	2.01
Carboeléctrica y Dual (carbón y combustoleo)	0.47	0.57	0.70	0.65	0.65	0.67	1.10	0.97	0.90	0.96
Geotermoelectrica	0.36	0.38	0.44	0.41	0.46	0.36	0.59	0.48	0.47	0.56
Eoloelectrica	1.16	1.52	1.34	1.87	0.27	0.61	0.74	0.69	1.02	1.84
Nuclear	0.74	0.75	0.95	0.77	0.83	0.91	1.12	1.04	1.97	1.26
Generación Hidroeléctrica	0.47	0.64	0.52	0.49	0.49	0.55	0.49	0.63	0.44	0.51

Tabla 2.12 “2012, Costo de generación por Tecnología, recuperado 2013 ,CFE www.cfe.gob.mx”

El costo de Generación incluye:

- Remuneraciones y prestaciones de personal
- Energéticos y fuerza comprada
- Mantenimiento y Servicios Generales por Contrato
- Materiales de mantenimiento y consumo
- Impuestos y Derechos
- Otros Gastos
- Costos de obligaciones laborales
- Depreciación
- Indirectos del corporativo
- Aprovechamiento y costo financiero

2.6 Conclusiones

En México ,77% del agua se utiliza en la agricultura, 14% del abastecimiento público, 5% en las termoeléctricas y 4% en la industria.

Dicho lo anterior consideraremos que el **14 %** del agua total suministrada por entidad es utilizada para cubrir las necesidades básicas. Por lo tanto para los estados de interés obtenemos que para los diferentes estados la cantidad de agua destinada para uso humano es de , **Baja California Norte 12.34 [m³/hab]**, **Baja California Sur 3.88 [m³/hab]** , **Sonora 8.96 [m³/hab]**,**Sinaloa 1.31 [m³/hab]**

Se observa que de acuerdo a la cantidad de agua suministrada por habitante en su respectivo estado ninguno cumple con el mínimo necesario para no ser considerado estar en un grado de estrés hídrico dado que la cantidad necesaria para abastecimiento de las necesidades básicas y primarias es de **20.075 [m³/hab]**,

Baja California Sur es el estado con mayor estrés hídrico presente en la región de interés.

Es por esto que hemos determinado centrarnos en este estado y en específico en Los Cabos BCS como punto de referencia para el estudio y evaluación de las tecnologías de desalación para su implementación en dicha ciudad el cual llamaremos de ahora en adelante "lugar de interés".

Los Cabos es uno de los cinco municipios del estado de Baja California Sur, limita al La Paz y el Golfo de California, con una **población de 238,487 habitantes** según lo publicado en el censo poblacional de 2010 por INEGI. Este municipio cuenta con un flujo turístico importante al ser considera como uno de los destinos más bellos y exclusivos de México.

Resultando así que para la población de los Cabos la cantidad de m³ de agua para abastecimiento debería ser de **4 787 626 [m³/hab]**.

3.- Caracterización de los potenciales energéticos disponibles y producción de los mismos.

3.1 Introducción

En la actualidad, el sector energético se han convertido en una condición para el crecimiento económico de los países, debido a la estrecha relación que existe entre el crecimiento del producto interno bruto y la demanda de energía en cada país .La naturaleza finita de los recursos ha obligado a buscar una mayor eficiencia en la producción y el uso de la energía, así como a desarrollar el potencial del uso de fuentes de energías no fósiles.

En este capítulo evaluamos el potencial geotérmico y solar de las diferentes tecnologías de aprovechamiento. Tomamos como referencia plantas geotérmicas que operan hoy en día en la región y hacemos referencia de los costos que presentan estas plantas y lo usamos como referencia y proponemos la implementación de una planta a menor escala. Hacemos referencia a costos internacionales de las tecnologías de aprovechamiento de energía solar de este modo llegamos a proponer un sistema de captadores parabólicos, ambos sistemas geotérmico y solar los hemos propuesto como una solución al alto costo energético que conlleva la implementación de una planta desaladora.

Por otra parte hacemos el análisis del funcionamiento de plantas con tecnología MSF (multi-stage flash distillation), MED (Multiple Effect Distillation MED) y RO (reverse Osmosis), de esta manera al final del capítulo concluimos, que tipo de planta y tecnología se adapta mejor para la implementación de fuentes de energía renovables.

3.2.- Potencial geotérmico y tecnologías de aprovechamiento

En general, la palabra geotermia se refiere a la energía térmica natural existente en el interior de la Tierra. En la práctica se le denomina así al estudio y utilización de la energía térmica que es transportada a través de la roca y/o fluidos, se desplaza desde el interior de la corteza terrestre hacia los niveles superficiales de la misma, dando origen a los sistemas geotérmicos.

En los años 70's con el incremento en el costo de los combustibles fósiles se le dio una importancia relevante, ayudando a suministrar parte de los requerimientos de energía de muchos países.

A partir de este *período* a la fecha se han identificado cinco tipos de sistemas geotérmicos:

- (a) hidrotermales;
- (b) roca seca caliente;
- (c) geopresurizados;
- (d) marinos ;
- (e) magmáticos.

A continuación se describen algunas de sus características del sistema hidrotermal, que actualmente está presente y es explotado en México.

✓ **Sistemas Hidrotermales**

Estos sistemas están constituidos por: una fuente de calor, agua (líquido y/o vapor) y la roca en donde se almacena el fluido. El agua de los sistemas hidrotermales se origina en la superficie de la tierra en forma de lluvia, hielo o de nieve. Se infiltra lentamente en la corteza terrestre, a través de poros y fracturas, penetrando a varios kilómetros de profundidad en donde es calentada por la roca alcanzando en algunas ocasiones temperaturas de hasta 400 °C.

Estos sistemas pueden clasificarse en tres tipos principales: vapor dominante, líquido dominante alta entalpía (*Cerro prieto*) y líquido dominante baja entalpía.

En la actualidad estos sistemas son los únicos que se explotan comercialmente para la generación eléctrica.

➤ **Generación de electricidad**

La generación de electricidad por medio de la energía geotérmica está íntimamente ligada con las condiciones naturales del yacimiento geotérmico particular utilizado para ese fin.

Existen varios tipos de procesos de conversión de energía para generar electricidad por medio de recursos hidrotermales. Actualmente, tres de estos procesos se encuentran en operación comercial:

(a) vapor seco

(b) sistemas de separación de vapor y

(c) ciclo binario.

Los usos de la energía geotérmica en nuestro país vienen desde 1956 con la implementación de la primera planta geotérmica en el estado de Hidalgo.

Todos los desarrollos geotérmicos en México se encuentran bajo la responsabilidad de la Comisión Federal de Electricidad.

Debido a sus particulares características geológico-estructurales, México cuenta con abundantes recursos geotérmicos. Actualmente se han detectado 2,332 manifestaciones geotérmicas distribuidas en 27 de las 32 Entidades Federativas.

Los sistemas geotérmicos de baja entalpía (temperaturas menores de 180 °C), son los que generalmente se destinan a usos directos. De los 80 países que se sabe cuentan con recursos geotérmicos con posibilidades de explotación comercial, 55 los emplean en usos directos, 31 de los cuales los utilizan de manera significativa¹⁵.

Actualmente se explotan en México cuatro campos geotérmicos (Cerro Prieto, Los Azufres, Los Hornos y las Tres Vírgenes, con una capacidad instalada de 958 MW¹⁶, lo cual coloca al país como el cuarto lugar mundial en capacidad instalada únicamente detrás de Estados Unidos, Filipinas e Indonesia. Como se muestra en la siguiente figura:

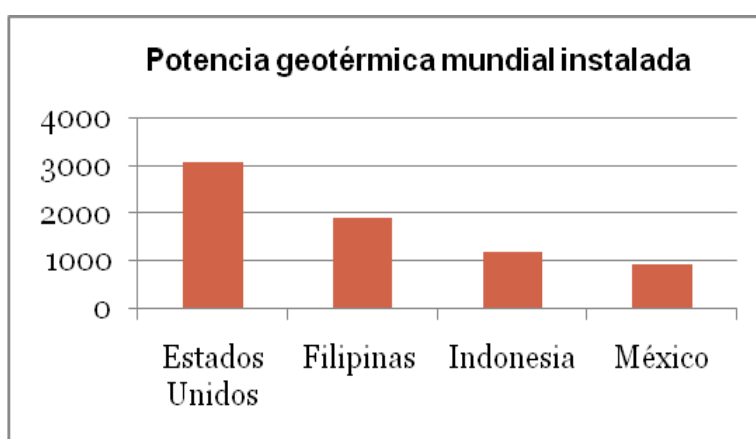


Figura 3.1 “2012, Evaluación de la energía Geotérmica en México (unidades en MW), recuperado 2013, CFE www.cfe.gob.mx”

De esta manera México cuenta con amplias posibilidades de explotación de dicha energía para generación de energía eléctrica.

Las ventajas que presentan las plantas geotérmicas es que no queman combustibles para producir vapor que impulse las turbinas de igual manera que las plantas eólicas y

¹⁵ 2000 Lund y Freeston, *Recursos geotérmicos a nivel mundial*.

¹⁶ “2013, Evaluación de la energía Geotérmica en México, recuperado 2013 www.cfe.gob.mx”

las plantas solares, debido a que no utilizan procesos de combustión, no emiten Dióxidos de Nitrógeno.

En la región noroeste del país se encuentran dos campos geotérmicos activos Cerro Prieto en Baja California Norte 720 [MWe], y Las tres Vírgenes en Baja California Sur 10 [MWe], datos reportados por CFE indican que la capacidad geotermoeléctrica actualmente instalada ha requerido la perforación de 556 pozos y la producción de 65.9 millones de toneladas de vapor al año de los cuales 66.4% corresponden a Cerro Prieto, 1.8% a Tres Vírgenes el resto corresponden a los demás campos instalados en el país.

El costo de generación se considera competitivo a nivel mundial oscilando entre 2 y 10 US¢/kWh y con costos de retorno de inversión que fluctúan entre 800 y 3000 US\$/kWh. Se espera que en el futuro estos costos de generación puedan reducirse entre 1 y 8 US¢/kWh. Los costos promedio de generación en México han sido variables: Cerro Prieto (3.46 [US¢/kWh]) y Tres Vírgenes (3.45 [US¢/kWh]).¹⁷

❖ **Cerro Prieto .B.C.**

Esta campo cuenta con 720 [MW] de capacidad neta, constituida por cuatro unidades de 110 [MW] cada una , cuatro unidades de 37.5 MW cada una, una unidad de baja presión de 30 [MW] y cuatro unidades más de 25 [MW] cada una. Todas las unidades son a condensación, de un solo flasheo, excepto las de 37.5 [MW] que son de doble flasheo. Las cuatro unidades más antiguas de 37.5 [MW] cada una se encuentran actualmente fuera de operación¹⁸.

De esta manera podemos estimar el costo aproximado de producción:

$$Ct = (Cn * H * FP * Cg) \rightarrow Ct = \left(720\,000 [kW] * 8760[h] * 0.6 * 0.4498 \left[\frac{Mx\$}{kWh} \right] \right)$$

$$= 1,702,187,136 [Mx\$]$$

Ct= Costo total (en pesos mexicanos)

Cn= Capacidad Neta [W] →720 [MW] =720 000 [kW]

¹⁷ "01 de Octubre de 2010, Escenario Futuro de Explotación de la Energía Geotérmica :Hacia un desarrollo sustentable, revista digital universitaria ,volumen 11, recuperado 2013 www.revista.unam.mx"

¹⁸ "2012, recurso geotérmicos-La geotermia en México, recuperado 2013, Geotermia, http://www.geotermia.org.mx/geotermia/?page_id=688"

Cg=Costo de generación (MX\$) →0.0346 [US/kWh]=0.4498 [MX\$/kWh]

H= 8760 h al año

FP= 0.6 de factor de planta supuesto

- Tomaremos un valor promedio de 13[MX\$] por 1 [US\$]

❖ Las Tres Vírgenes B.C.S

Con 10 [MW] de capacidad constituida por dos unidades a condensación (flasheo simple) de 5 [MW] cada una¹⁹

$$Ct = (Cn * H * FP * Cg) = \left(10\,000[kW] * 8760[h] * 0.6 * 0.4485 \left[\frac{Mx\$}{kWh} \right] \right) \\ = 23,573,160[Mx\$]$$

Ct= Costo total (en pesos mexicanos)

Cn= Capacidad Neta [W] →10 [MW] =10 000[kW]

Cg=Costo de generación (MX\$) →0.0345 [US/kWh]=0.4485 [MX\$/kWh]

H= 8760 h al año

FP= 0.6 de factor de planta supuesto

- Tomaremos un valor promedio de 13[MX\$] por 1 [US\$]

❖ Zona Geotérmica Los Cabos

En esta región se ha encontrado a partir de diversos estudios realizados por la Universidad Politécnica de Baja California, un yacimiento llamado “**Los Cabos**” con un potencial geotérmico obtenido a partir de un modelo volumétrico se obtiene un potencial de **2MW** con unas temperaturas promedio que van de los 120°C como valor mínimo a los 180°C como valor máximo.²⁰

$$Ct = (Cn * H * FP * Cg) = (2\,000[kW] * 8\,760[h] * 0.6 * 0.56 \left[\frac{Mx\$}{kWh} \right]) \\ = 5,886,720[Mx\$]$$

Ct= Costo total (en pesos mexicanos)

¹⁹ “2012, Recursos geotérmicos –La geotermia en México, recuperado 2013
http://www.geotermia.org.mx/geotermia/?page_id=688”

²⁰ “Noviembre 2011, Evaluación de los Recursos Geotérmicos de Baja Entalpía De La Península De Baja California, México, Comisión Reguladora de Energía, recuperado 2013, www.cfe.gob.mx”

Cn= Capacidad Neta [W] =2 [MW] =2, 000 [kW]

Cg=Costo de generación (MX\$) =0.56 [MX\$/kWh]²¹

H=8760h al año

FP=0.6 factor de planta supuesto

Nombre de la planta	Costo de generación [Mx\$/kWh]	Costo total de generación [Mx\$/año]
Cerro Prieto B.C.	0.4498	1 ,702 ,187,136
Las Tres Vírgenes B.C.S	0.4485	23 ,573 ,160
Los Cabos	0.56	5 ,886 ,720

Tabla 3.1 “Costo de generación total para plantas geotérmicas, resumen datos propios”

Como valor comparativo el costo de generación para la planta de Cerro Prieto obtenido en el documento de “costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión en el sector eléctrico 2011 “, es de 1 180.80 [\$/MWh].

Los datos reflejados en la tabla anterior serán utilizados más adelante para hacer el análisis de costos tomando en cuenta el costo de generación de las plantas geotérmicas, como una de las principales fuentes de energía para el sistema.

3.3.-Potencial Solar y Tecnologías de aprovechamiento

Cuando buscamos fuentes alternativas de energía, el primer paso más lógico es mirar por encima de nosotros. El sol evidentemente representa la fuente de energía más grande que tenemos para usarla en la Tierra. Es una de las llamadas energías renovables, particularmente del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde.

La energía solar es la energía producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión; llega a la Tierra a través del espacio en paquetes de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres.

²¹ “ 2011, Costo de generación geotérmica, recuperado 2013,CFE ww.cfe.gob.mx

La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a su distancia promedio del Sol, se llama constante solar. Sin embargo, esta cantidad no es constante, ya que parece ser que varía un 0,2% en un periodo de 30 años.

La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera.

México ofrece un gran potencial para el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de la radiación solar debido a sus altos niveles de insolación como se muestra en la siguiente figura.

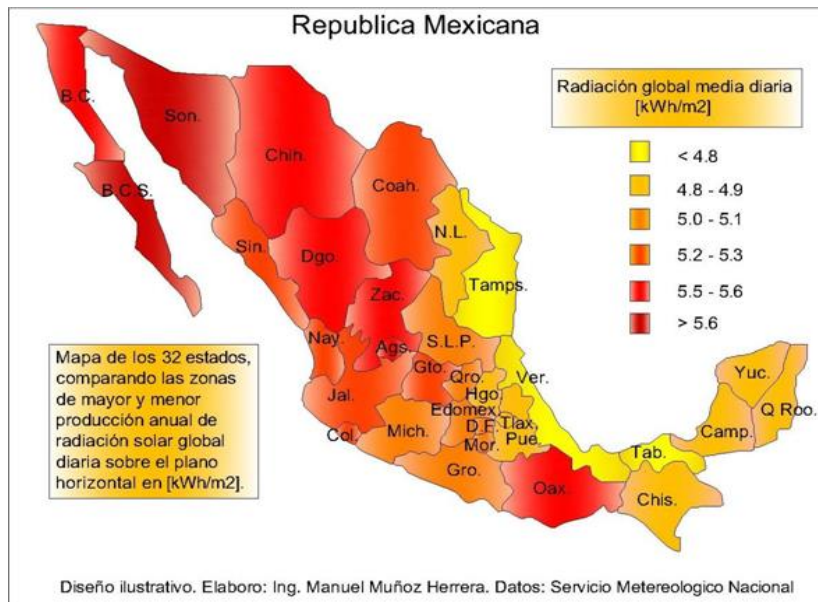


Figura 3.2 “2012,Radiación solar, Power electrical sale corporation,S.A De C.V, recuperado 2013 www.pesco.com.mx”

Considerando la capacidad energética del sol, la cual perdurará durante millones de años, así como la privilegiada ubicación de México en el globo terráqueo, la cual permite que el territorio nacional se encuentre en el mapa mundial como uno de los territorios con mayor promedio de radiación solar anual, con índices que van desde los 4.4 [kWh/m²] por día en la zona centro, a los 6.3 [kWh/m²] por día en el norte del país²².

²² “2012, Descripción y aplicaciones de la energía Power electrical sale corporation,S.A De C.V, recuperado 2013, <http://www.pesco.com.mx/pesco/eficiencia/index.php/servicios/sistemas-fotovoltaicos/radiacion-solar>”

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. De esta manera existen diversos tipos de tecnologías para el aprovechamiento de la radiación solar: energía termo solar o energía fotovoltaica.

➤ **Energía fotovoltaica:**

Los sistemas solares fotovoltaicos están compuestos por paneles que alojan varias celdas fotovoltaicas. Estas celdas están fabricadas con materiales semiconductores que producen una corriente eléctrica al momento de recibir una radiación luminosa. La simplicidad de la celda solar la convierte en un método extremadamente atractivo de la generación de electricidad.

Una planta de energía solar tiene una debilidad importante, sólo se puede generar electricidad cuando el sol está brillando, para mantener la continuidad del suministro, se debe contar con un sistema alternativo de generación empleando combustibles convencionales o un dispositivo de almacenamiento.

El mercado principal para la tecnología fotovoltaica son las instalaciones domésticas y comerciales. Esta tecnología es una de las más caras para la producción de energía eléctrica en la actualidad. El costo de la celda solar representa la mayor proporción del costo total.

Por otro lado, los apoyos gubernamentales en algunos países han impulsado la utilización de esta tecnología, aunque su costo permanece elevado. No obstante, su costo se ha reducido a punto donde su utilización masiva es factible. A la fecha su costo de inversión se encuentra en el rango de 3,000 a 4,000 [US\$/kWh]²³.

Es por esto que el uso y aplicación de dicha tecnología la descartaremos en este trabajo por considerar poca viabilidad para los fines propuestos en este trabajo.

➤ **Energía termosolar:**

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstica, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica.

²³ "2011, Costos y parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico, recuperado 2013 CFE Subdirección de Programación Coordinación de Evaluación www.cfe.gob.mx"

Sus usos son diversos pero en términos generales el aprovechamiento se lleva a cabo por medio de paneles solares térmicos los cuales funcionan de la siguiente manera:

El colector o panel solar capta los rayos del sol, absorbiendo de esta manera su energía en forma de calor, a través del panel solar hacemos pasar un fluido de manera que parte del calor absorbido por el panel es transferido a dicho fluido, el fluido eleva su temperatura y es almacenado, aprovechado por medio de intercambiadores de calor o utilizado directamente llevado al punto de consumo.

Existen diversos tipos de captadores solares térmicos, que se diferencian por el aislamiento térmico que utilizan, y la utilización o no, de concentradores, adaptándose a diferentes temperaturas de utilización, como pueden ser captadores de tubo de vacío (calentamiento de agua y producción de vapor), captadores concentradores (calentamiento de agua y producción de vapor), captadores planos con cubierta (calentamiento de agua) y los captadores planos sin cubierta (climatización de piscinas).

En cuanto a las instalaciones, podemos encontrar desde equipos compactos para dotar de agua caliente sanitaria a una casa unifamiliar, hasta instalaciones más complejas con fluidos distintos al agua, intercambiadores de calor, grandes depósitos de acumulación, etc.

Actualmente podemos afirmar que el aprovechamiento de la energía solar térmica es una tecnología madura y fiable, que las inversiones realizadas en general son amortizables sin la necesidad de subvenciones, y que se trata de una alternativa respetuosa con el medio ambiente.

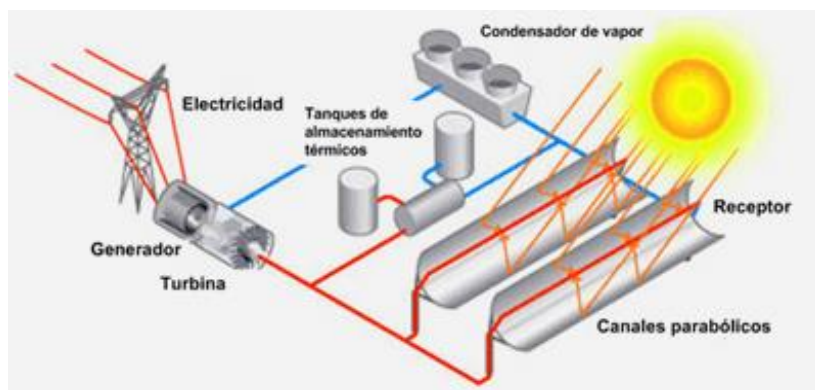


Figura 3.3 “2010,Planta Termo solar, sistema de recolección de calor, recuperado 2013

<http://energia-solar-energia.blogspot.mx/>”

Para sistemas termo solares, a finales de 2004 se tenían instalados a nivel global 164 millones de m² de área de captación, correspondientes a una capacidad instalada de cerca de 115,000 MWh, mientras que en México se tenían instalados más de 650,000 m de calentadores solares planos, generando más de 3.1 PJ por año para calentar agua. Actualmente existe una superficie de 1 millón de m² de colectores, que producen aproximadamente 4.5 PJ por año. Derivado de lo anterior, nuestro país se encuentra catalogado como uno de los primeros diez países productores de energía termo solar²⁴.

➤ Tipos de colectores solares

Captadores de baja temperatura, donde se encuentran: captador solar plano y panel de tubos de vacío.

Captadores de alta temperatura, donde se encuentran: captadores cilindro-parabólicos, centrales de torre.

Nos enfocaremos en los captadores de alta temperatura, debido a los rangos de temperatura que se generan dependiendo del tipo de fluido presente en el sistema.

❖ Captadores cilindro-parabólicos

Esta tecnología se aplica para obtener electricidad y energía térmica y posee un rango de potencia entre 50 y 300 MW. Consiste en un semi cilindro de espejos que concentran los rayos solares sobre una tubería central por la cual circula un fluido que transporta calor, frecuentemente aceite sintético. Para la acumulación de la energía se utilizan sales fundidas. Sus principales componentes son los espejos, el sistema de conversión de energía, el sistema de enfriamiento y el fluido de trabajo.

²⁴ “2012, Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables, recuperado 2013 subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico SENER, www.sener.gob.mx”

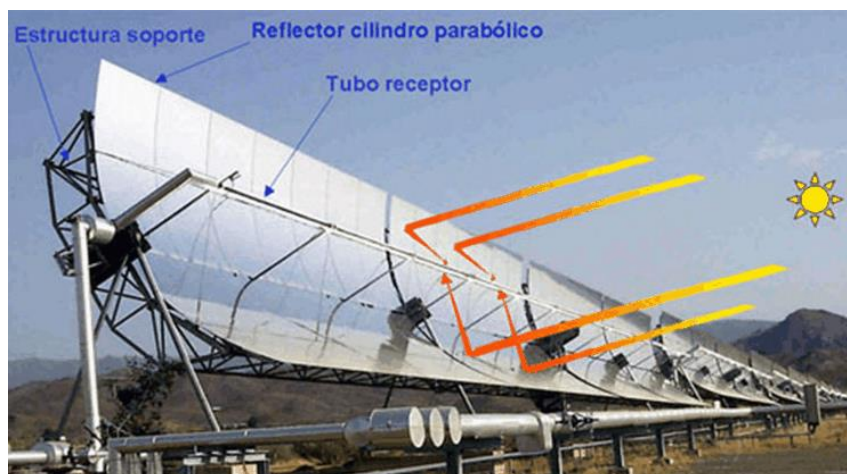


Figura 3.4 “2008, Esquema captadores cilindro-parabólicos, recuperado 2013
www.adrformacion.com”

Este tipo de plantas permiten ofrecer temperaturas máximas de 400 ° C, con una eficiencia solar- térmicas de 60% y solar-eléctrica de 15%. El factor de planta puede alcanzar un 40%, aunque se proyecta que pueda ser más alto en el futuro.

Los costos actuales para este tipo de tecnología se encuentran entre \$52,000 y \$104,000 por kW instalado [IEA,2010], \$52,000 sin almacenamiento y \$104,000 con almacenamiento, mientras los costos de operación y mantenimiento se estiman en alrededor de \$910 a \$1,820 KW/año [Abengoa Solar,2011].El costo medio de la energía es cercano a \$2.40 [kWh].²⁵

3.4.- Producción del Sistema MSF

En el proceso MSF (multi-stage flash distillation) el agua de mar se calienta en un recipiente denominado calentador de salmuera. Esta operación se realiza generalmente condensando el vapor en un intercambiador de calor de tal manera que el agua a desalar absorbe el calor de condensación del vapor previamente mencionado. Este vapor, utilizado para calentar el agua de mar, es de baja o media calidad proveniente de una planta de generación eléctrica. El agua de mar calentada se dirige hacia otro recipiente, llamado etapa, donde la presión ambiental es inferior a la atmosférica, de tal forma que la temperatura de ebullición del agua se ve reducida y está hierve inmediatamente. Esta introducción rápida del agua caliente en la cámara causa una evaporación rápida casi explosiva (flashing), de ahí el nombre del proceso. Tan sólo una pequeña parte de esta agua se convierte en vapor, dependiendo de la

²⁵ “2012,Centro de Energías Renovables, recuperado 2013 Ministerio de Energía ,www.cer.gob.cl/tecnologias/solar/concentracion-solar-de-potencia-csp/cilindro-parabolico/”

presión mantenida en la etapa. El vapor producido circula hacia la siguiente etapa, condensándose en su recorrido.

El vapor generado por evaporación súbita (flashing) se transforma en agua potable condensándose gracias a los tubos de intercambiadores de calor que contienen agua de mar proveniente de la siguiente etapa. Los tubos se calientan por el calor aportado al condensarse el vapor generado en la propia etapa. De esta forma el agua de mar se va calentando a medida que se acerca al calentador de salmuera, por lo que el calor que éste ha de aportar se reduce sensiblemente. Por lo tanto, la evaporación del agua en cada efecto no se produce directamente mediante el aporte de energía térmica en un intercambiador de calor, sino por la expansión brusca de agua caliente presurizada hasta una presión inferior a la de saturación. Los componentes principales del sistema son los evaporadores, de paredes plana, y que incluyen las cámaras flash, separadas por las compuertas, además de los tubos de intercambio, los separadores de humedad. Cada evaporador tiene dos secciones, denominadas de rechazo de calor y de recuperación de calor, respectivamente.

Los recalentadores son condensadores de vapor externo, habitualmente de carcasa y tubos. Las bombas de recirculación de salmuera son de gran potencia por el alto caudal que han de circular. Asimismo son necesarias las bombas de aportación de agua de mar y las de agua producto, así como los eyectores de vapor, para la producción de agua de mar y las de agua producto, así como los eyectores de vapor, para la producción del vacío necesario en el interior de las cámaras. Por último, los equipos de pre tratamiento, consistentes en bombas dosificadoras de ácido y de anti incrustante, además de las torres descarbonatadas para eliminar el dióxido de carbono formador por el ácido.

Dado que se evapora agua, el proceso es insensible a la salinidad de la alimentación. La necesidad de energía es prácticamente la misma para cualquier salinidad de la alimentación. No tiene mucho sentido utilizar este proceso para aguas salobres, que pueden ser tratadas por otros medios (membranas) con menor consumo de energía y a menor coste. El agua producto obtenida es agua destilada, de muy buena calidad de menos de 50 ppm (normalmente de 20 a 30 ppm).

Los sistemas MSF operan en dos rangos de temperaturas. Los de alta temperatura, caracterizados por una temperatura máxima de salmuera de 115 o 120°C, mientras la mínima es de unos 10°C por encima de la temperatura del mar. El pre tratamiento es mediante ácido, o anti incrustante de alta temperatura.

En cambio, en los sistemas de baja temperatura, el punto máximo de la salmuera no sobrepasa los 90°C, manteniéndose la mínima. Esta tendencia a las altas temperaturas es obligada, buscando una alta economía, pero con riesgo de corrosión e incrustaciones.

Dada las incrustaciones, hay una limitación en el factor de concentración, y por tanto en la conversión, que es típicamente del 50%. El consumo de vapor es relativamente alto, puesto que la relación de economía no puede aumentarse indefinidamente. Además del vapor de calefacción en baja presión, hay que añadir la electricidad auxiliar necesaria para bombeo (entre 3 y 5 kWh/m³), y el vapor de media presión para los eyectores de producción²⁶.

²⁶ “ Estudio del acoplamiento de una planta de desalación MED a un reactor PBMR”(Eduardo Barros Merino, Septiembre 2007 , www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/46e93020283c2.pdf)

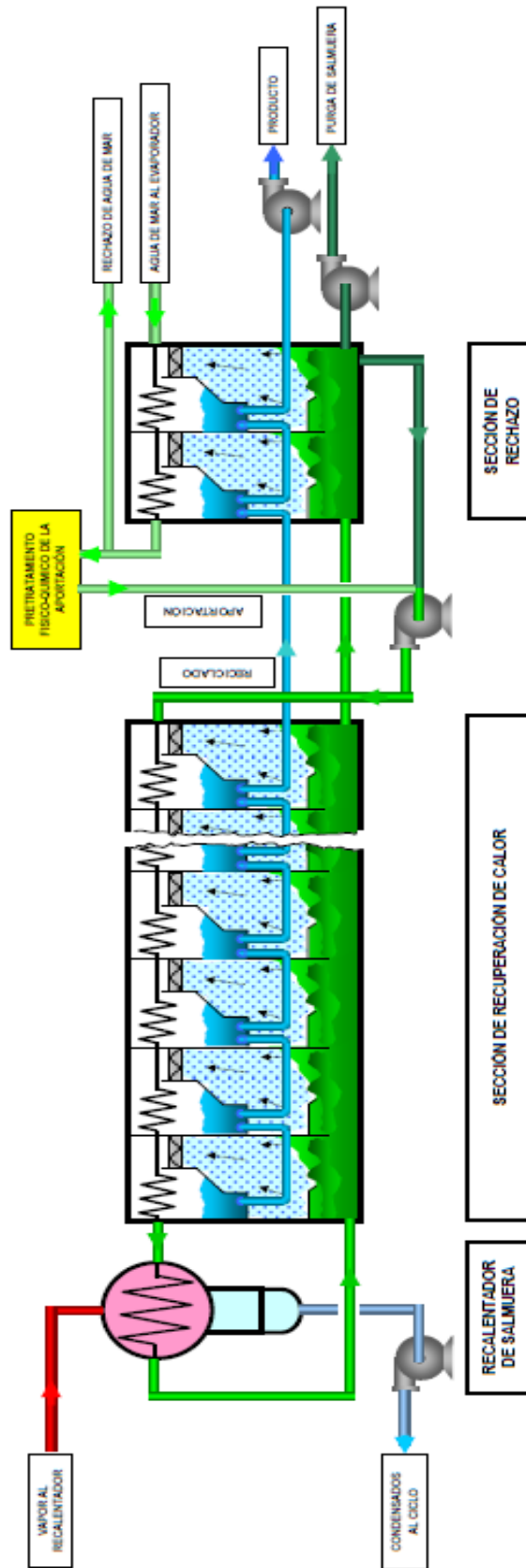


Figura 3.5 “2009,Diagrama de flujo del proceso de Evaporación Instantánea Multietapa Ecoagua Ingenieros SL ,España”

En conclusión, las principales ventajas del método MSF son:

- Es especialmente válido cuando la calidad del agua bruta no es buena (alta salinidad, temperatura y contaminación del agua aportada)
- Su acoplamiento con plantas de potencia para formar sistemas de cogeneración es muy fácil y permite una gran variabilidad de rango de operación en ambas plantas.
- Su robustez en la operación diaria frente a otros procesos de destilación es notoria.

Sin embargo, las plantas MSF tienen también otros inconvenientes:

- Su consumo específico, definido como la cantidad de energía consumida para producir 1m³ de agua desalada, es de los más altos de los procesos estudiados. A este consumo contribuyen el consumo térmico proveniente de la planta productora de electricidad, más alto que otros procesos de destilación debido al efecto flash; y el consumo eléctrico debido al gran número de bombas necesarias para la circulación de los flujos de la planta.
- En una planta MSF la cantidad de agua de mar introducida en el proceso debe ser de 5 a 10 veces superior a la del destilado que se desea producir, lo que implica que la cantidad de agua que hay que bombear para conseguir una misma producción de destilado que mediante otro tipo de proceso es mayor.
- Además de su alto coste de operación, su costo de instalación es equiparable al de otros procesos de desalación.

3.5.- Producción del Sistema MED

Las plantas MED (Multiple Effect Distillation MED) al contrario que el proceso de destilación por efecto flash (MSF), la evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de intercambiador aprovechando el calor latente desprendido del vapor en la otra cara del mismo.

Las plantas MED utilizan condensadores de evaporación de tubo horizontal y película descendente en una serie de disposiciones para producir, mediante pasos repetidos de evaporación y condensación cada uno de ellos a una menor temperatura y presión, una cantidad de destilado a partir de una cantidad dada de vapor motriz. Este vapor procede de un sistema recuperativo, una turbina de contrapresión o extracción de una condensación.

Se puede incorporar cualquier cantidad de condensadores- evaporadores (efectos) a la sección de recuperación de calor de las plantas, según la temperatura y el costo del calor de baja calidad disponible y el punto óptimo de intercambio entre inversión y economía de vapor. Aunque cuanto mayor es el número de efectos utilizados, mayor será el agua potable producida, en la práctica, por razones económicas, el número de efectos no suele ser mayor de 14.

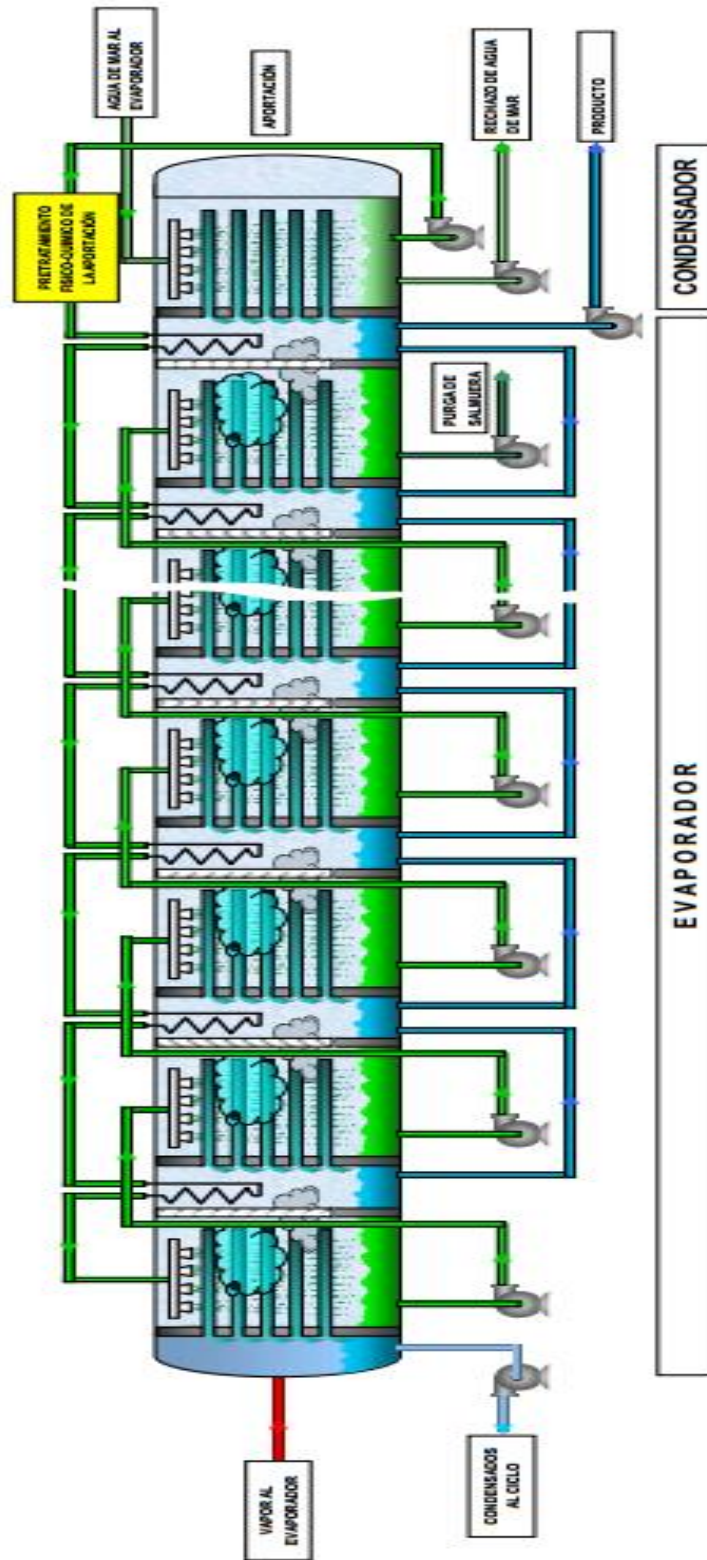


Figura 3.6 “2009, Diagrama de flujo de proceso de Evaporación Multifecto en Tubos Horizontales, Ecoagua Ingenieros SL, España”

La corriente de alimentación es pre tratada con un aditivo inhibidor de incrustaciones y es introducida en el grupo de efectos de recuperación de calor de menor temperatura. Un sistema de toberas rociadoras distribuye el agua sobre las hileras superiores de los tubos de cada efecto, donde fluye en forma de finas películas por cada grupo de tubos; parte del mismo se vaporiza a medida que absorbe el calor latente liberado por la condensación del vapor dentro de los tubos. La alimentación remanente, ahora levemente concentrada es bombeada al siguiente grupo de efectos, que operan a temperaturas más elevadas. La alimentación de remanente se vuelve a bombear hacia adelante, hasta que sale del grupo de efectos más calientes en forma de salmuera concentrada.

El producto es agua totalmente pura, es fresca, potable y suave con un promedio de 20 ppm. La salmuera concentrada del efecto de mayor temperatura, al igual que el destilado, se procesan en cascada por una serie de cámaras de evaporación súbita y se refrigeran sucesivamente para recuperar su calor. Después de ser refrigerada, se retorna al mar a través de la bomba de salmuera.

La mayor parte de las plantas MED construidas últimamente operan a una temperatura máxima de 70 °C lo que reduce la posibilidad de incrustaciones dentro de la planta. Como contraprestación son centrales que necesitan disponer de mayor superficie de transferencia de calor.

La capacidad de plantas tipo MED suele ser más reducida que las MSF (nunca suelen superar los 15,000 [m³/día], es habitual que las plantas dispongan de un número de efectos comprendidos entre 8 y 16. El consumo eléctrico es menor que la MSF ya que necesita menos bombas de circulación al no existir recirculación de salmuera²⁷.

A pesar de las aparentes ventajas que presenta este proceso frente a las plantas MSF, el peso del sistema MED en el contexto mundial de la desalación, es mucho menor que el del MSF.

²⁷ “ Barros Merino ,Septiembre 2007,Estudio del acoplamiento de una planta de desalación MED a un reactor PBMR ,recuperado 2013www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/46e93020283c2.pdf”

3.6.-Producción del Sistema RO (Osmosis Inversa)

Dentro de los procesos de desalación clasificados como mecánicos, se encuentra la desalación por osmosis inversa. Se trata de un proceso en el que las membranas juegan un papel importante ya que la filtración es la técnica utilizada para la separación de las sales.

La ósmosis inversa es un proceso natural que ocurre en plantas y animales. De forma esquemática podemos decir que cuando dos soluciones con diferentes concentraciones se unen a través de una membrana semipermeable el solvente pasa a través de la membrana en un porcentaje mayor que los sólidos disueltos hasta igualar las concentraciones de ambas disoluciones. La dirección del flujo del solvente se determina por su potencial químico, que es en función de la presión, temperatura y concentración de los sólidos disueltos. El contacto del agua pura con ambas caras de una membrana ideal semipermeable a igual presión y temperatura no produce flujo a través de la membrana porque el potencial químico es igual a ambas caras. Si se añade un sal soluble en uno de los lados, el potencial químico de esta solución se reduce. Se producirá un flujo osmótico desde el lado que se encuentra el agua pura hacia el lado de la solución salina a través de la membrana hasta que se restablece el equilibrio del potencial químico. Existe, una circulación natural de la solución menos concentrada para igualar las concentraciones finales.

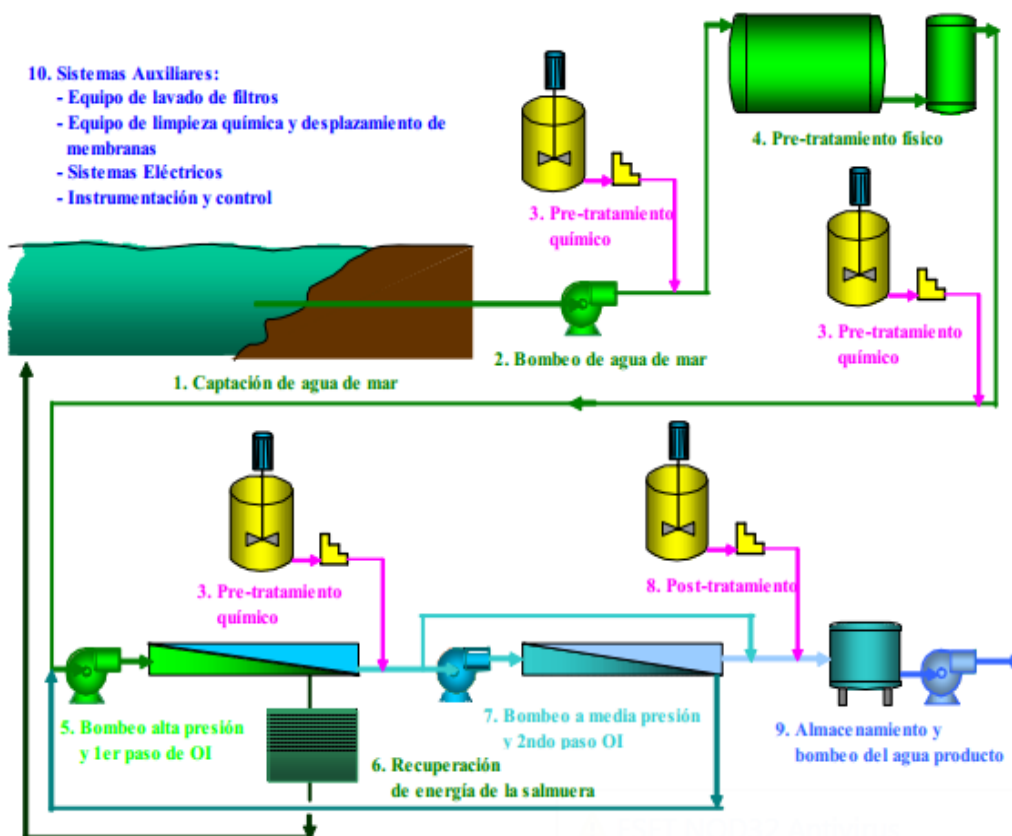
Sin embargo aplicando una presión externa que sea mayor a la presión osmótica de una disolución respecto de la otra, el proceso se puede invertir, haciendo circular agua de la disolución más concentrada y purificando la zona de menor concentración, obteniendo finalmente una pureza admisible, aunque no comparable a la de los procesos de destilación. Por eso es altamente recomendable para la filtración de aguas salobres, en las que la sal a rechazar es mucho menor que en aguas marinas.

La cantidad de permeado depende de la diferencia de presiones aplicada a la membrana, sus propiedades, la concentración del agua bruta, y la calidad del agua producto, que suele estar en torno a los 300-500 ppm de TDS(sólidos totales disueltos, por sus siglas en ingles), da un orden de magnitud mayor al agua obtenida en un proceso de evaporación (en promedio de 20 ppm) esto será de suma importancia para determinar el tipo de planta a utiliza para la desalación dependiendo del agua producto que se busque.

Una membrana para realizar osmosis inversa debe resistir presiones mucho mayores a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones. Por ejemplo un agua bruta de 35,000 ppm de TDS a 25°C tiene un presión osmótica de alrededor de 25 bar, pero son necesarias 70 bar para obtener permeado.

No necesita aporte de calor, ni cambio de fase, para conseguir la separación, sino que requiere energía para dar la presión necesaria al agua de alimentación del proceso.

El agua de mar, antes de ser alimentada a estas plantas, debe ser sometida a una etapa de pre tratamiento fisicoquímico más compleja que la requerida por las tecnologías térmicas. Este pre tratamiento incluye desinfección con cloro para controlar el crecimiento bacteriológico, filtración multimedia para reducir STS (sólidos totales suspendidos, por sus siglas en ingles), filtración con cartuchos para proteger las membranas de RO y de cloración con bisulfito de sodio. La fracción de agua desalinizada producida por estas plantas es aproximadamente del 30-45 % .



3.7 "2009, Diagrama de flujo del proceso de ósmosis inversa, Ecoagua Ingenieros SL, España"

En la práctica se bombea el agua salina de portación al interior de un recinto en el que es presionada contra la membrana.

Puesto que una parte atraviesa la membrana, el resto del agua suministrada aumenta su contenido proporcional en sales, siendo eliminada como salmuera sin atravesar la membrana.

Si no se eliminara la salmuera, el agua de alimentación presurizada continuaría incrementando su salinidad. La cantidad de agua de alimentación eliminada como salmuera varía entre el 20% y 70% de volumen total aportado, dependiendo del contenido de sales de agua bruta.

Cuando se evalúa la ósmosis inversa frente a los procesos de evaporación, hay que tener en cuenta que la osmosis de agua salobre utilizando membranas de baja presión lograr tener un consumo de energía de 1 a 1.5 [kWh/m³] y la ósmosis de agua de mar con recuperación de energía, tiene un consumo de energía eléctrica de 4 a 5 [kWh/m³].

3.7 Conclusión

La desalación por métodos térmicos han tenido un fuerte desarrollo en los países árabes donde abunda el petróleo pero escasea el agua. En países como Kuwait el 95% del agua proviene de la desalación.

Para abaratar la producción de agua desalada en grandes cantidades, la mejor opción es asociar la planta desaladora a una planta de generación eléctrica.

Dicho lo anterior es importante realizar el análisis comparativo de las distintas formas de desalinización dependiendo de las propiedades presentes en el lugar de colocación del sistema.

4. Análisis comparativo entre las diferentes tecnologías

4.1 Introducción

El costo de desalinización varía significativamente dependiendo del tamaño y tipo de planta de desalinización, la fuente y la calidad del agua de alimentación entrante, la localización de la planta, las condiciones del sitio, la mano de obra calificada,

los costos de energía y la vida útil de la planta. La baja salinidad en el agua de entrada requiere de menos consumo de energía y dosificación de los químicos utilizados.

Una mayor capacidad en las plantas, un menor consumo de energía y un período prolongado de vida útil de la planta ayuda a reducir el costo unitario del agua.

Los primeros elementos del costo de desalinización son el capital y el costo anual de funcionamiento. El capital incluye el costo de compra de los principales equipos, equipos auxiliares, el terreno y el costo de construcción de la planta. Dichos costos han disminuido a lo largo de los años debido al desarrollo continuo de los procesos, y componentes.

Estos costos los hemos analizado a fin de encontrar la viabilidad de implementación de uno de los sistemas de desalinización que mayormente se apegue a las condiciones que hemos analizado en el capítulo anterior.

4.2. Análisis de viabilidad de uso del sistema MED, RO y MSF

En el campo comercial de los sistemas de desalinización, los resultados que se obtienen tras un análisis económico pueden ser muy diferentes. Dependiendo de los criterios adoptados y de la hipótesis de partida, se pueden obtener unas cifras u otras.

El costo específico del agua producida por un sistema de desalinización viene dado por la suma de tres costos parciales:

- -Costo debido a la inversión inicial
- -Costo de operación y mantenimiento
- -Costo de la energía consumida por el proceso

El costo debido a la inversión es el asociado, como su nombre lo indica, a la inversión inicial que requiere la instalación.

En él se engloban el costo de los equipos, el costo de la obra civil y el de las instalaciones auxiliares que son necesarias para el buen funcionamiento del sistema (toma de agua, filtros, planta de tratamiento, potabilizadora, etc.)

Los costos de operación y mantenimiento son los asociados por la explotación y la conservación de la planta.

Entre los factores que hay que tener presentes a la hora de evaluar estos costos, están los siguientes: vida media de los equipos (cuanto menor sea dicha vida, mayores serán los costos de explotación y mantenimiento), el diseño de la planta(tipo de pre-tratamiento elegido, tipo de motobombas y turbinas elegidas, etc.), grado de automatización de la instalación ,vida útil esperada de la instalación ,mano de obra requerida para operar la planta, etc.

Por último tenemos, el tercer costo que interviene en el coste total de agua producida: el costo energético. Independiente de la tecnología empleada, toda planta desalinizadora necesita una cierta cantidad de energía para su adecuado funcionamiento. Lo que si depende de la tecnología y del proceso elegido es la cantidad y el tipo de energía que requiere, ya que hay procesos que solo necesitan energía mecánica (ósmosis inversa y compresión de vapor) mientras que otras necesitan el aporte de energía térmica, ya sea exclusivamente o parcialmente.

La tabla²⁸ mostrada a continuación muestra cuales son los consumos energéticos típicos de los diferentes tipos de plantas desalinizadoras, con objeto de comparar un sistema solar térmico con los sistemas convencionales competidores.

Característica	MSF	MED-TVC	OI
Tipo de Energía	Térmica	Térmica	Eléctrica
Consumo energético primario [kJ/kg]	Alto>200	Alto/medio 150-200	Bajo <80
Consumo de energía eléctrica [kWh/m ³]	3.5-4.0	1.5-2.0	2.4-4.5
Costos de Instalaciones	Alto	Alto/medio	Medio
Posibilidad Ampliación	Difícil	Difícil	Difícil
Desalación agua de mar	Sí	Sí	Sí
Calidad agua desalada [ppm]	Alta<50	Alta<50	Alta<50
Superficie terreno requerida de instalación	Mucha	Media	Poca
Costo [USD/m ³] tratado	1.14-1.68	0.83-1.115	0.63-0.86
Costo [USD/m ³] plantas pequeñas	*	1.28-2.16	*
*Valor no disponible para plantas pequeñas.			

Tabla 4.1 “Tabla comparativa de los sistemas MSF, MED, RO “2002, Desalación del Agua, una alternativa para resolver la demanda de agua potable en el sur de la República Mexicana, recuperado 2013,<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/i-017.pdf>”

²⁸ “2002,Desalación del Agua, una alternativa para resolver la demanda de agua potable en el sur de la República Mexicana, recuperado 2013,<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/i-017.pdf>”

Como se muestra en la tabla el consumo energético menor es el de las plantas MED, este consumo energético es abastecido por fuentes tradicionales, proponemos un abastecimiento energético a través de fuentes renovables como lo son energía térmica y solar.

Como se mostró en la tabla 2.12, el costo de energía generación por geotermia en el 2011 era de \$ **0.56 [kWh]** según datos reflejados por CFE, para el caso de la energía el Ministerio de Energía del gobierno de Chile estima un costo de generación por energía solar alrededor de **\$2.40[kWh]** (precios en pesos mexicanos).

De esta manera obtenemos un valor promedio de **\$2.96 [kWh]** por energía solar y térmica como principal fuente de energía para el abastecimiento de la demanda energética de una planta MED. El valor obtenido es competitivo en comparación con las otras dos tecnologías MSF y RO.

El sistema OI para nuestro estudio deja de ser viable desde el planteamiento establecido en el párrafo anterior al indicar que se propone el abastecimiento energético por energía solar (térmica) y térmica(yacimiento térmico). La conversión de energías térmicas a eléctrica la cual es el tipo de energía necesaria para este sistema, incrementa por el costo energético y por ende el costo de m³ de agua tratada.

El sistema MED y MSF y comparten ciertas características las cuales harían pensar que ambas tecnologías podrían ser aplicables para su aplicación en nuestra región de interés “Los Cabos” al analizar ambos sistemas determinamos que el sistema MED resulta ser más viable debido a:

-Costo de agua tratada inferior al sistema MSF con un valor de **\$16.64 – \$28.08 [m³ tratado]**

-El sistema MED trabaja con un número de procesos no mayor a 14.

-La temperatura es menor en el proceso MED 70°C lo cual evita incrustaciones en el sistema y esto mismo reduce el costo de mantenimiento del sistema.

-Menor uso de bombas debido a que no existe recirculación de salmuera, reduciendo el costo de energía eléctrica para la operación del sistema.

4.3.- Evaluación para uso y aplicación del sistema MED en la región de interés “Los cabos”

En los cabos el encargado de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento con calidad y eficiencia en el municipio se llama OOMSAPAS (Organismo Operador Municipal del Sistema, de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de los Cabos) dicho organismo establece las cuotas y tarifas para el cobro de servicios.

De esta manera sabemos que para la región de Los Cabos la tarifa de agua potable tiene un costo \$75.63 para un consumo de 0 a 18 [m³] esta tarifa corresponde a un servicio doméstico “A”.

Una persona requiere de 2 a 4 [m³] por mes para cubrir sus necesidades básicas, de esta manera tomaremos el valor de **\$75.63** como un valor que nos permitirá hacer un comparativo de costos de agua por obtención de métodos tradicionales o por sistema de desalinización (MED).

Por otra parte el estado de Baja California Sur cuenta con uno de los valores de estrés hídrico más críticos a lo largo de toda la República Mexicana ,como se mostró en el capítulo 2 se considera que la cantidad mínima necesaria para que una persona pueda cubrir sus necesidades básicas diarias a lo largo de un año es de aproximadamente 20 [m³] y en el estado su valor promedio es de tan sólo 1.5 [m³] por lo cual demuestra que solo el **7.5%** del total de la cantidad de agua necesaria está presente en la región.

Lo anterior demuestra la necesidad imperiosa de buscar nuevas alternativas de suministro de agua en la región, sin considerar las necesidades agrícolas e industriales presentes en la región. El objetivo de la implementación de tecnologías de desalación es incrementar a un **50%** el abastecimiento anual per cápita, es decir pasar de 1.5 [m³] a 10 [m³] lo cual lleva a pensar en una planta desalinizadora que cubra 8.5 [m³] de agua faltante. En la región de Los Cabos con una población de 238,487 habitantes ²⁹ el dimensionamiento necesario sería de una producción anual promedio de 2,027,140 [m³].

²⁹“2010, Censo Poblacional, recuperado 2013 INEGI www.inegi.org.mx”

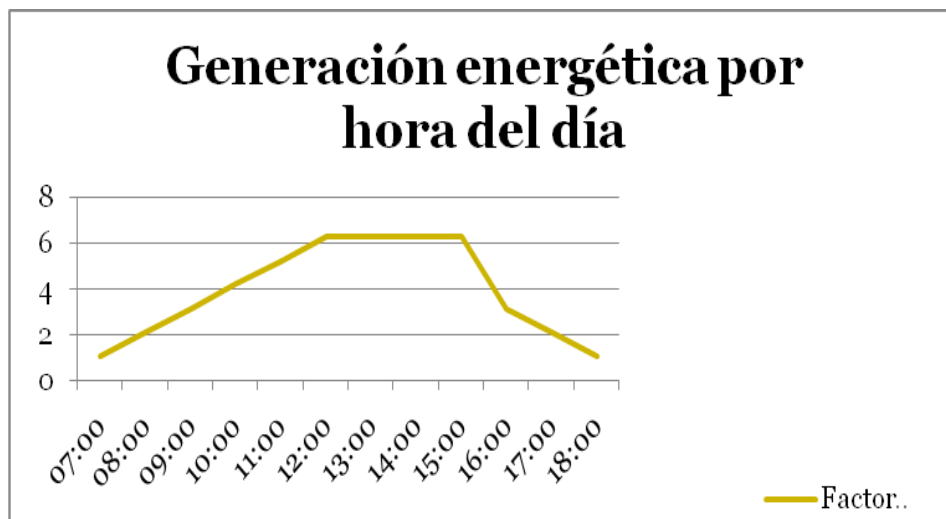
	Año	Mes	Día
Cantidad de producción de agua [m³]	2,027,140	168,928	5,631

Tabla 4.2 “Dimensionamiento necesario de la planta para abastecimiento hídrico, según datos cálculos obtenidos”

Para obtener esa cantidad de agua, es necesario establecer la cantidad energética necesaria para llevar a cabo el proceso de desalinización, a partir de los valores mostrados en la tabla 3.1 sabemos que el consumo energético necesario para este tipo de plantas en un valor promedio varía de 1.5-2 [kWh/m³].

Así que si consideramos una producción necesaria diaria de (5,631[m³])(1.5 [kWh/m³]) quedando un valor de **8,447 [kWh/día]**.

Específicamente en la zona de los cabos contamos aproximadamente con un potencial solar de 6.3 [kWh/m²] si consideramos una radiación de 12 h y de estas 4.5 horas³⁰ de radiación pico. Es posible de esta manera obtener 28.35[kW/m²] en las horas pico y 75.6 [kW/m²] considerando 12 horas de radiación.



Gráfica 4.1 “Generación energética por radiación solar por hora del día” Potencial dado en [kW/m²]

Como se muestra en la gráfica anterior el potencial solar varía a lo largo del día, conforme se aproxima al medio día se obtiene el valor máximo de potencial solar y se mantiene este valor por 4 horas consideradas horas pico.

³⁰ “Rogelio Leal, Junio 2011, Energía solar en México, recuperado 201 www.viveinteligente.org”

Considerando que la planta se encuentre en funcionamiento 20 horas por día se obtiene que **8,447 [kWh/día]** . Dicha cantidad de energía será suministrada como se muestra a continuación:

Tipo de Energía	Horarios de trabajo del sistema	Factor de potencial solar [kW/m ²]	Capacidad de generación[kWh]
SOLAR	07:00	1.05	210
	08:00	2.1	420
	09:00	3.15	630
	10:00	4.2	840
	11:00	5.2	1040
	12:00	6.3	1260
	13:00	6.3	1260
	14:00	6.3	1260
	15:00	6.3	1260
	16:00	3.15	630
	17:00	2.1	420
	18:00	1.05	210
TÉRMICA	19:00		250
	20:00		250
	21:00		250
	22:00		250
	23:00		250
	00:00		250
	01:00		250
	02:00		250
Nota: Ha sido tomado el valor de 200 m ²		TOTAL	11440

Tabla 4.2 "Generación de energía por captación solar y térmica (Tabla elaborado con datos mostrados dentro del mismo trabajo)

Para obtener los valores mostrados en la tabla anterior, se tomó en consideración que para KW generados por radiación solar un área de captación de **200 [m²]** y para la generación térmica un valor de 2 MW dividido a lo largo de 8 horas donde el recurso solar queda restringido.

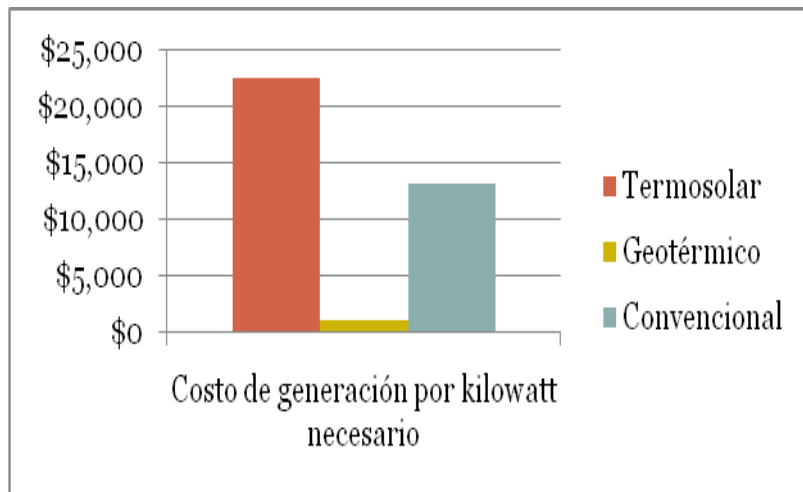
De esta manera suponemos una capacidad de generación de **11,440 [kW]** , obtenidos por energía térmica solar y energía geotérmica presentes en el sitio. Presentando un sobredimensionamiento energético aproximado del **30%**.

El costo de la generación de la energía se muestra en la siguiente tabla:

Fuente de energía	Costos de generación de energía térmica [Mx\$/kWh]	kWh necesarios	Costo de generación por TOTAL necesario
Termosolar	\$2.40	9,440	\$22,656
Geotérmico	\$0.56	2,000	\$1,120
Convencional	\$1.15	11,440	\$13,156

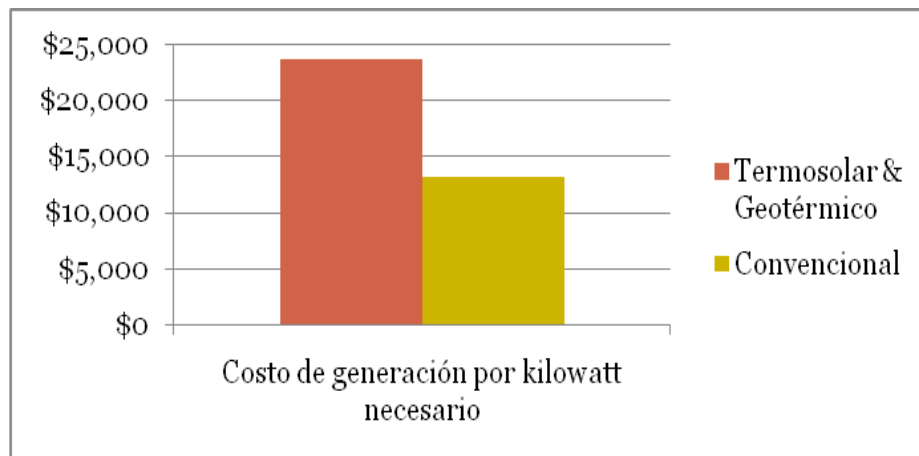
Tabla 4.3 "Costo de generación por tipo de energía"(Datos reflejados obtenidos y mostrados en el capítulo 3"

De esta manera obtenemos la siguiente gráfica:



Gráfica 4.2 “Costo de generación por tipo de energía” (Datos reflejados, obtenidos y mostrados en el capítulo 3 del presente trabajo)

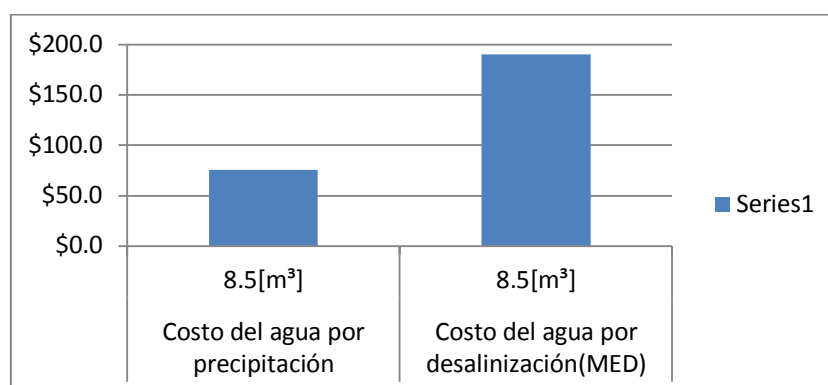
El costo de generación como se muestra es más elevado en comparación con obtención de energía por medios convencionales (energías no renovables).



Gráfica 4.3 “Costo de generación por tipo de energía” (Datos reflejados, obtenidos y mostrados en el capítulo 3)

La diferencia de costos de generación es de \$10,620 entre ambas formas de obtención de energía, a pesar de que el costo sea mayor, el uso de fuentes de energías renovables son necesarias debido al bajo costo ambiental que representa el uso de las mismas y a la seguridad energética.

Por otra parte haremos el comparativo del costo que representa la desalinización de agua por el sistema MED contra el costo real y presente en la región de Los Cabos, los datos serán obtenidos a partir de la tabla 3.1.



Gráfica 4.4 “Comparativa entre costos por sistema MED vs Agua por precipitación” (Datos propios presentados en tablas anteriores)

La gráfica anterior muestra el costo de 8.5 [m³] los cuales representan la cantidad de agua necesaria para reducir a un 50% el nivel de estrés hídrico. El costo de 8.5[m³] de agua obtenida por precipitación es de \$75.6 anuales en comparación con el costo de desalinización por sistema MED el cual es de \$190.01 anuales , lo cual muestra una diferencia de **\$114.40**.

La disponibilidad de agua a largo plazo está determinada en gran parte por las condiciones promedio en las cuencas de los ríos, pero a menudo son los eventos extremos lo que causan inseguridad hídrica severa.

La disponibilidad de agua a largo plazo está determinada en gran parte por las condiciones promedio en las cuencas de los ríos, pero a menudo son los eventos extremos lo que causan inseguridad hídrica severa. Por esto es importante destacar **¿cuál es el costo real de un recurso escaso?** o cuya incertidumbre y latencia de cumplir con los valores mínimos necesarios son muy elevadas.

Vale la pena analizar el costo presente en la región de \$75.6, dado que este costo es un costo un tanto alejado a la realidad. Como ha sido explicado anteriormente el abastecimiento de agua se encuentra fundamentado en la Constitución Mexicana como una necesidad básica que se encuentra en manos del gobierno el correcto uso y distribución de dicho recurso esto a su vez conlleva a que el Estado invierta recursos federales o locales para el subsidio mismo de los costos reales del abastecimiento de agua en las regiones.

En la región de los Cabos ya han tomado medidas respecto a la alta incertidumbre hídrica presente en la región, desarrollando una fuente de abastecimiento confiable, permanente competitiva para la ciudad, asegurando la oferta para el desarrollo de la región, evitando la dependencia de las variaciones climáticas.

La alternativa encontrada para garantizar y cubrir confiablemente la demanda de la ciudad, es la desalinización y potabilización de agua extraída del mar, el sistema no utilizara recursos fiscales, la empresa ganadora hará la inversión total del proyecto con recursos propios a cambio de operarla durante 20 años en tanto recupera el Capital y e Interés. El Estado pagará por cada metro cúbico entregado de acuerdo con el programa y con la calidad especificada, también facturará y cobrará el agua potable. Después de 20 años la obra completa será entregada al Estado, en condiciones normales de operación, con un stock de refacciones y sin costo.

Modelos o esquemas como el anterior donde el estado no requiere hacer una inversión inicial, favorecen a la implementación de nuevas tecnologías como la presentada en este trabajo.

4.3.- Conclusiones

El análisis del uso del sistema de desalinización MED quedó limitado al estudio costo-beneficio.

El costo energético de la generación de energía térmica a partir de energías renovables es alto, debido al tipo de tecnología utilizado, obteniendo costos de hasta \$23,776 para la operación diaria del sistema , esto aún sin considerar el costo que se genera debido a la instalación de los equipos para formar los sistemas térmicos necesarios para la generación de energía.

A pesar del costo energético, el beneficio de la utilización de energías renovables también es alto, la tendencia actual que se presenta a nivel mundial es dejar de depender cada vez más de las fuentes de energías no renovables esto por el alto que costo que se paga todos los días, esto reflejado en la contaminación de los ríos, mares, del aire, en general del medio ambiente.

Apoyos gubernamentales fomentan la investigación y uso de energías renovables, esto se lleva a cabo con apoyos económicos de fondos dirigidos especialmente para este fin.

5. Expectativas del uso de tecnologías en el país

5.1.- Introducción

Es obvio que México tiene un gran potencial para aplicar técnicas de desalinización debido a su gran potencial para aplicar técnicas de desalinización, debido a su gran extensión de costas; a la escasez de las lluvias en el norte del país; a sequías prolongadas en gran parte del territorio nacional; y a la concentración de la población en zonas urbanas sin recursos de agua dulce suficientes. Los clientes serán tanto el sector público como los sectores del comercio, industria y del turismo.

Las zonas potenciales son, sin mencionar los sitios particulares con recursos de agua salobre existentes en el interior del país. Península de Baja California, Costa Pacífico, Costa norte del Golfo de México, costa de la península de Yucatán.

Con prioridad se debería instalar plantas desaladoras en las costas, donde los acuíferos costeros son sobreexplotados y donde ya existe la intrusión de agua marina.

El estado se ha encargado de construir y subsidiar obras monumentales para abastecer de agua a las regiones con potencial de desarrollo para impulsar el crecimiento de las actividades económicas y recaudar impuestos.

El estado subsidia el abasto de agua, donde bien es sabido que el agua es un recurso limitado, la demanda ha agotado las fuentes locales, las distancias y los costos se han incrementado notablemente, la presión económica y social de las ciudades la transferencia masiva de caudales de agua de una cuenca donante a una zona densamente poblada con el riesgo de generar escasez del recurso en el área de origen.

Al representar la desalación como una fuente alterna de agua, los factores ambientales relacionados al crecimiento son mínimos debido a que el principal efecto es el de no limitar el crecimiento debido a la escasez de un recurso.

La desalación es la única solución para un abasto, donde los recursos de agua dulce son agotados.

5.2. Normatividad vigente aplicable al uso de las tecnologías de desalación

En el comienzo de su mandato constitucional (2000-2006) Vicente Fox ex presidente de México declaró el agua como un asunto de seguridad nacional.

En efecto ,la propuesta de considerar política y jurídicamente el agua como asunto de seguridad nacional conlleva necesariamente la idea de aceptar que existe un riesgo o amenaza que el Estado mexicano debe atender prioritariamente sobre otros temas y que lo hará a través de la adopción de medidas excepcionales, desde el uso de la Fuerza Armada hasta el diseño de estrategias con medidas urgentes a través de políticas públicas nuevas, creación de instituciones o elaboración de un marco jurídico para ello.

Cuando un tema es considerado de seguridad nacional se debe entender lo siguiente:

- -Existe riesgo o amenaza al bienestar, integridad o calidad de vida de los ciudadanos, en el futuro del país, o la consecución de los objetivos nacionales.
- -Adquiere prioridad sobre los demás problemas que enfrenta el Estado; aún así requiere de cierto “consentimiento” de la población y de otros actores políticos y sociales.

Sin embargo ha sido a través del Pacto Internacional de Derechos Económicos Sociales y Culturales (PIDESC) que la comunidad internacional ha desarrollado con mayor detalle este derecho. Es importante decir que el Senado mexicano ratificó este pacto el 18 de diciembre de 1980, acto jurídico que se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 12 de mayo de 1981. Al ratificar este instrumento, el Estado mexicano aceptó voluntariamente las obligaciones para realizar progresivamente, y utilizando el máximo de los recursos disponibles, el derecho al agua, que como ha señalado el comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (comité DESC), es esencial para poder alcanzar un nivel de vida adecuado.

La legislación nacional en materia hídrica es muy compleja, dispersa y cuantiosa. A continuación se señalan las normas jurídicas de mayor relevancia para la regulación del recurso hídrico en el país:

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente(LGEEPA).

➤ **Constitución Mexicana**

El artículo 27 de la Constitución mexicana señala claramente que las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional son propiedad de la nación.

En el párrafo quinto enlista las aguas que deben entenderse como agua nacionales (mares territoriales, lagunas, lagos, ríos y sus afluentes, etc.). Este artículo es relevante pues establece que, exceptuando algunos casos, el Estado es el propietario original de las aguas nacionales. Posteriormente el mismo artículo hace referencia a la facultad que tiene el estado de transferir el dominio sobre este bien público a los particulares, constituyendo así la propiedad privada. El párrafo sexto especifica que el dominio de la nación es inalienable, el uso o el aprovechamiento de los recursos de que se trata, por particulares o sociedades constituidas legalmente, sólo podrá realizarse a cabo mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo Federal.

Otro artículo constitucional relevante es el artículo 4, que aunque no habla específicamente del agua, establece en el párrafo cuarto el derecho de toda persona a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar.

Finalmente, deben mencionarse los artículos 73,115 y 122 de la constitución, los cuales establecen las facultades legislativas del Congreso de la Unión en materia de Aguas, las facultades de los Municipios en materia de aguas y las facultades de la Asamblea Legislativa del Distrito Federal en materia de agua, respectivamente.

➤ **Ley de Aguas Nacionales**

La ley de Aguas Nacionales (LAN) fue creada en 1992, modificándose por última vez en el 2004. La LAN es una ley reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales. Tiene como finalidad regular el uso, aprovechamiento o explotación de dichas aguas así como su distribución, uso y la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. Establece a la Comisión Nacional del Agua (CNA) como la autoridad administrativa en materia de aguas nacionales (LAN, artículo 9).

Entre sus principales atribuciones está la formulación de la política hídrica nacional y su seguimiento. También está encargada de vigilar el cumplimiento y aplicación de la Ley en la materia, de expedir títulos de concesión, asignación o permiso de descarga y llevar el Registro Público de Derechos de Agua.

La LAN establece que el agua es un “bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental” y que la responsabilidad de su preservación en cantidad y calidad recae tanto en el Estado como en la Sociedad. Reconoce además que es un asunto de seguridad nacional. Señala que la gestión de los recursos hídricos debe realizarse de manera integrada y por cuenca hidrológica, y que los servicios ambientales que proporciona el agua deben cuantificarse y pagarse. Además de los usos agrícola, industrial y público del agua, reconoce el uso ambiental, es decir reconoce que la naturaleza es un usuario más del agua.

➤ **Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente (LGEEPA)**

La LGEEPA se enfoca principalmente en ordenar la prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos. Señala por ejemplo, que la prevención y control de la contaminación del agua, es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país. También enfatiza la responsabilidad compartida entre el Estado y la sociedad para prevenir la contaminación, conlleva la responsabilidad de tratar las descargas que se generen, de tal forma que puedan ser utilizadas en otras actividades y se mantenga el equilibrio de los ecosistemas. Las aguas urbanas residuales también deben recibir tratamiento previo a su descarga a los diferentes cuerpos de agua receptores.

Estos criterios deben ser considerados al emitir normas oficiales mexicanas para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para el tratamiento del agua para el uso y consumo humano, así como para la infiltración y descarga de aguas residuales en cuerpos receptores considerados aguas nacionales.

En conclusión la idea de desarrollar proyectos para desalar agua de mar para consumo humano, no ha sido debidamente incluida en los programas o leyes respectivas vigentes en nuestro país. Simplemente el tema no ha sido insertado como parte de un objetivo general fundamental de la política pública del agua en nuestro país.

La Constitución dota de facultades al Estado para el uso, manejo y distribución del agua, de esta manera gran parte de la responsabilidad de la preservación de este recurso recae en el Estado.

Pero aún no hay líneas claras sobre si proyectos de este tipo son deseables o no, y de serlos, si el gobierno federal estaría dispuesto a invertir en ellos de manera consistente o si buscaría inversión privada o mixta.

No existe claridad sobre el rumbo político respecto a las posibilidades de utilizar para este tipo de proyectos energías renovables y contribuir de esta manera a la estabilización de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático.

Ante un panorama poco claro en la creación y aplicación de las leyes y normas que ayuden a generar e impulsar nuevos proyectos, el país corre el riesgo de mostrar niveles de escasez de agua aun mayores a los reflejados en este momento.

5.3. Aspectos ambientales

Después de más de treinta años de operación de plantas desaladoras en el mundo no se ha demostrado ningún efecto nocivo significativo para el medio ambiente generado por una planta desaladora; sin embargo se debe considerar que la mayoría de las plantas desaladoras de alta capacidad de producción más de 20,000 [m³/día] ,se han instalado en zonas donde la actividad económica , industrial y turística ha impactado y modificado el ecosistema previo a la instalación de la planta desaladora por lo que su impacto no implica mayor cambio ,que el ya existente. Aun así, la zona costera del Noroeste de México se caracteriza por ser una zona muy rica en biodiversidad y productividad primaria, con zonas de reserva de la biosfera y ecosistemas en áreas naturales protegidas.

Es importante generar modelos tridimensionales para evaluar las capas de dispersión de la salmuera y considerar que estos flujos de salmuera tienen un gradiente de densidad superior al del agua del cuerpo donde se descargan, estos caudales tienen una boyancia (capacidad de un cuerpo para sostenerse dentro de un fluido) negativa y por lo mismo tienden a hundirse hasta el fondo. Por esta razón se genera una interacción con el fondo marino como una capa estratificada que puede reducir la difusión de oxígeno y crea en los sedimentos condiciones de hipoxia.

En el alto Golfo de California algunas zonas experimentan episodios de hipoxia de manera natural debido a que una alta incidencia solar y baja densidad del viento provocan una alta evaporación, incrementan la salinidad y la densidad del agua de mar, la cual tiende a migrar al fondo y formar zonas estratificadas, en esta zona la presencia de una descarga de salmuera puede exacerbar esta condición.

Si la descarga se hace desde fondos submarinos, además de evitar los sistemas algales bentónicos (organismos que habitan en el fondo de los sistemas acuáticos), se debe de promover una mayor mezcla de la salmuera mediante difusores elevados.

Acorde a la legislación, es muy importante considerar que en la zona de playa, sea de arenas, materiales sueltos o gravas, deberá prestarse especial atención a las variaciones estacionales del perfil de playa, así como al perfil de erosión que puede resultar de temporales y tormentas previsibles de manera que la estructura del emisor o emisores no sea afectado por estas variaciones con una probabilidad admisible.

Se debe asegurar la estabilidad química de los materiales empleados en la obra de manera que resistan la capacidad corrosiva del agua de mar y de la salmuera que conducen. El sistema de impulsión debe procurar el menor consumo de energía y aprovechar en lo posible el vertido por gravedad. En todos los casos deberá garantizar la adecuación del caudal del emisor a las diferentes condiciones de funcionamiento, tales como caudal afluente, nivel del mar y pérdidas de carga. Por lo que de ser necesario se debe instalar una estación de bombeo en la cabecera del emisor.

La descarga de salmuera mediante inyección en pozos y/o mediante percolación en pozas es viable. Esta forma de dispersión permite la difusión gradual de salmuera dentro del acuífero marino y va reduciendo su salinidad conforme avanza hacia la playa de forma que cuando esta salmuera alcanza la zona de rompientes la salinidad es menor a la concentración tóxica o de 40 000 ppm.

De entre los diversos efectos ambientales de la desalación las emisiones de CO₂ es uno de los más graves. Estas emisiones se suelen imputar al proceso de la desalación, sin embargo no es cierto que la desalación emita CO₂. Las emisiones son debidas al consumo energético, en este sentido, cualquier maquinaria que consuma electricidad está haciendo emisiones, claro que como la proporción de energía que consume la desalinización es muy elevada, este ha sido un tema muy controvertido.

Nuestro país contribuye con cerca del 1.5 % de las emisiones mundiales de GEI (gases de efecto invernadero), estimándose en poco más de 643 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono (eq. CO₂), con lo que se ubica en el lugar 12 ente los países con mayores emisiones a escala mundial.

Las energías renovables nos permiten consumir energía sin emitir CO₂ a la atmósfera puesto que estas emisiones son quizás el gran problema ambiental de la desalinización, a menudo se habla de las posibilidades de vincular un modo directo o indirecto la desalinización con las energías renovables.

Abastecer directamente una desaladora mediante energías renovables ,significa que produce energía con placas , paneles solares u otros sistemas ,y se emplea dicha energía exclusivamente en la planta, como se propone en este trabajo.

6.-Conclusiones

Después de hacer el análisis sobre los aspectos económicos de la desalación con base en energías renovables, se llega a las siguientes conclusiones:

-El problema de escasez de reservas de agua dulce en varias regiones del mundo adyacentes a las costas es inevitable tomar en cuenta la posibilidad de desalar agua de mar y destinarla al consumo humano. Las reservas de agua de mar son 97% del total de aguas que posee el planeta.

-La utilización de combustibles fósiles como fuentes de energía de las plantas de desalación no es viable a largo plazo desde el punto de vista económico por dos motivos: a) los altos precios de éstos en el mercado mundial y b) las emisiones derivadas de la combustión de estos afecta la salud de las personas y acentúa el efecto invernadero.

-Existe la suficiente abundancia de fuentes de energía renovable a nivel mundial. América Latina está en una situación privilegiada pues: a) se cuenta con buena irradiación solar debido a la cercanía del ecuador, b) el potencial de energía eólica es alto también, c) debido a que el continente se encuentra en una zona de placas tectónicas con gran actividad, se cuenta con ventajas en energía geotérmica y, d) además por contar con industrias relacionadas con la biomasa, y con una población grande que genera residuos orgánicos, se cuenta con posibilidades de utilizar energía proveniente de la biomasa.

-En cuanto a la utilización de energías renovables para funcionamiento de plantas de desalación se puede observar que la energía renovable más utilizada es la solar, tanto en colectores solares como en celdas fotovoltaicas.

La utilización de sistemas mixtos de energías renovables e hidrocarburos puede ser una primera alternativa de utilización hacia un horizonte de utilización única de tecnologías que funcionen enteramente con energías renovables y que aborde el problema de continuidad.

-Finalmente, es importante considerar que la decisión sobre la utilización de una tecnología en particular debe tomarse en función los costos y beneficios de su aplicación.

Y que el análisis debe hacerse caso por caso, no hay conclusiones generales, puesto que costos y beneficios están en función de las condiciones locales que incluyen la abundancia relativa de insumos (agua de mar, biomasa, etcétera) y de fuentes de

energía (solar, eólica, etcétera). Debe considerarse además el concepto de beneficio y costo total, es decir, aquel que incluya los impactos negativos y positivos de utilizar una fuente de energía en particular.

En el pasado se ha ignorado el impacto negativo de la utilización de combustibles fósiles, incorporar este elemento a la ecuación puede ser sin duda inclinar la balanza cada vez más a la adopción de fuentes renovables de energía para desalinizar.

Nomenclatura

CO₂ Dióxido de Carbono

Lt/m² Litros por metro cuadrado

°C Grados Celsius

MW Mega Watts

km² Kilómetros cuadrados

mm Milímetros

m³/día Metros cúbicos por día

m³/hab/año Metros cúbicos por habitante por año (medida de precipitación hídrica)

microsiemens/cm Micro siemens por centímetro (medida de conductividad)

MWe Mega watts eléctricos

US\$/kWh Dólar por Kilowatt hora

MX\$ Pesos Mexicanos

US\$ Dólar Americano

PJ Peta Joule

Glosario

Agua permeada: Es la corriente de agua con baja concentración de sales que se obtiene del agua bruta.

Agua producto: Se conoce como agua producto al agua permeada después de pasar por el tratamiento.

CFE: Comisión Federal de Electricidad

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

MED: Multiple Effect Distillation MED

MSF: Multi-stage flash distillation

ONU: Organización de las Naciones Unidas

ppm de TDS: partes por millón de Sólidos Totales Disueltos

PNUD: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo

RO: Reverse Osmosis

Salmuera: Es la corriente de agua con alta concentración de sales que se obtiene del agua bruta.

SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales

Índice Tablas

Capítulo 1

- i. Tabla 1.1 Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823. Recuperado Mayo 2013.
- ii. Tabla 1.2 “1998-2013, Abastecimiento energético por hidroeléctricas, recuperado Mayo 2013 www.lenntech.es”

Capítulo 2

- iii. Tabla 2.1 “2013, Estadística poblacional para el estado de Sinaloa, recuperado 2013 Censo Poblacional INEGI, www.inegi.org.mx)
- iv. Tabla 2.2 “2013, Estadística poblacional para el estado de Sonora, recuperado 2013 Censo Poblacional INEGI, www.inegi.org.mx)
- v. Tabla 2.3 “2013, Estadística poblacional para el estado de Baja California Norte, recuperado 2013 Censo Poblacional INEGI, www.inegi.org.mx)
- vi. Tabla 2.4 “2013, Estadística poblacional para el estado de Baja California Sur, recuperado 2013 Censo Poblacional INEGI, www.inegi.org.mx)
- vii. Tabla 2.5 “2000-2011, Dotación mínima de agua, valor mínimo para la vida en condiciones climáticas moderadas y asociadas a una actividad vital media. Se excluye el cultivo de alimentos. The world’s water 2000-2001. Pacific Institute.
- viii. Tabla 2.6 “2010, Estadísticas cobertura agua potable para el estado de Baja California, INEGI www.inegi.org.mx
- ix. Tabla 2.7 “2010, Estadísticas cobertura agua potable para el estado de Baja California Sur, recuperado 2013, INEGI www.inegi.org.mx)
- x. Tabla 2.8 “2010, Estadísticas cobertura agua potable para el estado de Sonora, recuperado 2013 INEGI www.inegi.org.mx”
- xi. Tabla 2.9 “2010, Estadísticas cobertura agua potable para el estado de Sinaloa, recuperado 2013 INEGI www.inegi.org.mx)
- xii. Tabla 2.10 “Resumen precipitación per cápita de la región de interés”
- xiii. Tabla 2.11 “2012, Tarifas y relación precio-costo de energía eléctrica por sector de consumo (el total se refiere al precio medio en kilowatts por hora), recuperado 2013, CFE www.cfe.gob.mx”
- xiv. Tabla 2.12 “2012, Costo de generación por Tecnología, recuperado 2013, CFE www.cfe.gob.mx”

Capítulo 3

- xv. Tabla 3.1 “Cantidad de agua destinada para uso humano per cápita ,resumen datos propios”

Capítulo 4

- xvi. Tabla 4.1 “Tabla comparativa de los sistemas MSF,MED,RO “2002,Desalación del Agua, una alternativa para resolver la demanda de agua potable en el sur de la República Mexicana, recuperado 2013,<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/i-017.pdf>”
- xvii. Tabla 4.2 “Dimensionamiento necesario de la planta para abastecimiento hídrico, según datos cálculos obtenidos”
- xviii. Tabla 4.3 “Costo de generación por tipo de energía”(Datos reflejados obtenidos y mostrados en el capítulo 3”

Índice Figuras

Capítulo 1

- xix. Figura 1.1 “Ciclo del agua”, 2006
USGS(<http://ga.water.usgs.gov/edu/wcpagesize/spanish.html>)
- xx. Figura 1.2 “2006, esquema representativo desalación mediante energía solar térmica directa, recuperado Mayo 2013 , <http://news.soliclima.com>”
- xxi. Figura 1.3 “2012, Esquema general de un sistema fotovoltaico, recuperado 2013,<http://www.iie.org.mx>”

Capítulo 2

- xxii. Figura 2.1 “2005, Estadística de precipitación media para el estado de Sinaloa ,recuperado 2013 INEGI, www.inegi.org.mx)
- xxiii. Figura 2.2 “2005, Estadística de precipitación media para el estado de Sonora, recuperado 2013, INEGI www.inegi.org.mx)
- xxiv. Figura 2.3 “2005, Estadística de precipitación media para el estado de Baja California Sur, recuperado 2013 INEGI www.inegi.org.mx)
- xxv. Figura 2.4 “2005, Estadística de precipitación media para el estado de Baja California Norte, recuperado 2013, INEGI www.inegi.org.mx”
- xxvi. Figura 2.5 “2013,esquema representativo de una central hidroeléctrica, recuperado 2013 CFE www.cfe.gob.mx”
- xxvii. Figura 2.6 “2013, Ubicación de las principales presas en la región noroeste por almacenamiento máximo recuperado 2013, CONAGUA www.conagua.gob.mx”

Capítulo 3

- xxviii. Figura 3.1 “2012, Evaluación de la energía Geotérmica en México (unidades en MW), recuperado 2013, CFE www.cfe.gob.mx “
- xxix. Figura 3.2 “2012, Radiación solar, Power electrical sale corporation, S.A De C.V, recuperado 2013 www.pesco.com.mx”
- xxx. Figura 3.3 “2010, Planta Termo solar, sistema de recolección de calor, recuperado 2013 <http://energia-solar-energia.blogspot.mx/>”
- xxxi. Figura 3.4 “2008, Esquema captadores cilindro-parabólicos, recuperado 2013 www.adrformacion.com”
- xxxii. Figura 3.5 “2009, Diagrama de flujo del proceso de Evaporación Instantánea Multietapa Ecoagua Ingenieros SL ,España”
- xxxiii. Figura 3.6 “2009, Diagrama de flujo de proceso de Evaporación Multiefecto en Tubos Horizontales ,Ecoagua Ingenieros SL ,España”
- xxxiv. 3.7 “2009, Diagrama de flujo del proceso de ósmosis inversa, Ecoagua Ingenieros SL, España”

Capítulo 4

- xxxv. Gráfica 4.1 “Generación energética por radiación solar por hora del día” Potencial dado en [kWh*m²]
- xxxvi. Gráfica 4.2 “Costo de generación por tipo de energía”(Datos reflejados, obtenidos y mostrados en el capítulo 3 del presente trabajo)
- xxxvii. Gráfica 4.3 “Costo de generación por tipo de energía”(Datos reflejados, obtenidos y mostrados en el capítulo 3)
- xxxviii. Gráfica 4.4 “Comparativa entre costos por sistema MED vs Agua por precipitación”(Datos propios presentados en tablas anteriores)