



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

“OBTENCION DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE
MAR MEDIANTE ACETONA Y ENERGIA SOLAR”

TESIS:

PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO

PRESENTA:

ALONSO OCAMPO BARRIGA

ASESOR:

DOCTOR EN INGENIERIA QUIMICA

AGUSTIN J. CASTRO MONTOYA

MORELIA MICHOACAN ABRIL 2015

INDICE	PAG
RESUMEN.....	05
ABSTRACT.....	05
PALABRAS CLAVE.....	05
INTRODUCCION.....	06
PROBLEMÁTICA.....	08
DESCRIPCION DE LA PROPUESTA.....	09
OBJETIVOS.....	10
GENERAL.....	10
PARTICULAR.....	10
HIPOTESIS EXPERIMENTAL.....	11
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	13

CAPITULO 1 ANTECEDENTES

1.1 NECESIDAD DE DESALINIZAR.....	14
1.2 ENERGÍAS RENOVABLES.....	15
1.3 ENERGÍA SOLAR.....	17
1.3.1 UN FOCO CELESTE.....	18
1.4 COLECTOR SOLAR PLANO.....	19
1.4.1 CARACTERÍSTICAS Y RENDIMIENTO DEL COLECTOR SOLAR PLANO.....	20

CAPITULO 2 MARCO TEORICO

2.1 DATOS DE RECURSOS HÍDRICOS.....	22
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE MAR.....	25

2.2.1	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	26
2.3	PROCESOS PARA DESALINAR EL AGUA.....	26
2.3.1	PROCESOS TÉRMICOS.....	29
2.3.2	DESTILACIÓN MULTITETAPA FLASH (MSF).....	29
2.3.3	DESTILACIÓN MULTIEFECTO (MED).....	30
2.3.4	COMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR (CMV).....	31
2.3.5	DESTILACIÓN SOLAR.....	32
2.3.6	PROCESOS DE MEMBRANA.....	32
2.3.7	OSMOSIS INVERSA (OI).....	33
2.3.8	ELECTRODIÁLISIS (ED).....	34
2.3.9	TECNOLOGÍAS EMERGENTES.....	35
2.3.10	OSMOSIS FORZADA.....	35
2.3.11	SOLUCIONES DE EXTRACCIÓN.....	35
2.3.12	MEMBRANAS BIOMIMÉTICAS.....	36
2.3.13	NANOTUBOS DE CARBÓN (NTC).....	38

CAPITULO 3 METODOLOGIA

3.1	ELABORACIÓN DEL COLECTOR SOLAR.....	39
3.1.1	CUBIERTA EXTERIOR.....	39
3.1.2	AISLANTE.....	40
3.1.3	PLACA DE ABSORCIÓN.....	40
3.1.4	RADIADOR DE TUBOS.....	41
3.1.5	PINTURA ABSORBENTE.....	41
3.1.6	CUBIERTA DE VIDRIO, JUNTAS Y SELLADORES.....	42
3.2	PRECIPITACIÓN QUÍMICA.....	43

3.3	EXTRACCIÓN DE LA SAL PRECIPITADA.....	45
3.4	RECUPERACIÓN DE SOLVENTE Y OBTENCIÓN DE AGUA.....	47
CAPITULO 4 RESULTADOS Y ANALISIS		
4.1	COLECTOR SOLAR PLANO.....	51
4.2	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE MAR.....	52
4.3	AGUA DE MAR DESALINIZADA.....	53
4.4	RECUPERACIÓN DE SOLVENTE Y OBTENCIÓN DE AGUA FRESCA..	54
CONCLUSIONES.....		59
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....		60
BIBLIOGRAFIA.....		62

RESUMEN

El calentamiento global, el alza en el precio de los combustibles, las emisiones de dióxido de carbono y la escases de agua, representan problemas que involucran a toda la sociedad y a los principales emisores contaminantes como los son las industrias, y que a su vez los comprometen a generar y utilizar energías limpias.

El agua es una recurso natural abúndate que cubre tres cuartas partes de la superficie de la tierra, de cualquier manera solo el 3% de toda esa agua es potable. Alrededor del 25% de la población no tienen acceso a suficiente agua, además de no ser de calidad. Son casi 80 países los que tienen serios problemas con el agua. La desalinización del agua de mar es un proceso importante para satisfacer la creciente demanda de agua dulce, sin embargo, es altamente intensivo el consumo en energía debido a la alta salinidad de la fuente. Históricamente, la desalación del mar de agua ha sido la forma más cara para producir de manera comercial agua potable ya que se necesitan capitales altos y grandes cantidades de energía.

ABSTRACT

Global warming, the rise in the price of fuel, emissions of carbon dioxide and water scarcity, represent problems that involve the entire society and the main pollutants are senders and industries, which in turn undertake to produce and use clean energy.

Abundate Water is a natural resource that covers three quarters of the surface of the earth, anyway only 3% of all that water is potable. About 25% of the population lack access to sufficient water, and not quality. Are almost 80 countries that have serious problems with water. Desalination of seawater is an important to meet the growing demand for fresh water process, however, is highly intensive energy consumption due to the high salinity of the source. Historically, the desalination of sea water has been the most expensive way to produce commercially drinking water as high capital and large amounts of energy are needed

PALABRAS CLAVE

Energías limpias, sustentable, agua, energía solar, sostenible.

INTRODUCCION

Agua significa vida. Cada día los seres humanos realizan un sinnúmero de actividades, las cuales indirectamente o directamente involucran un notable uso de agua, a menudo en grandes cantidades. El agua es una necesidad de todo tipo de industria, de actividades agrícolas y distintos usos domésticos. Existen diferentes factores los cuales contribuyen continuamente al incremento del consumo de agua fresca, entre los que destacan el aumento demográfico mundial y en general la mejora de la calidad de vida en todos los niveles, con consecuencias en la demanda de agua potable para una gran variedad de aplicaciones.

En la actualidad la disponibilidad de agua potable se considera un derecho universal. El agua tiene un valor esencial como elemento estratégico para atender las necesidades sociales básicas de la población e impulsar el desarrollo económico del país.

Basado en lo anterior, las expectativas de la demanda de agua en el mundo para el 2040 pueden ser más grandes que la disponible. Un escenario futuro como este, requiere de mayores consideraciones y todos los esfuerzos posibles.

Los procesos de desalinización generan agua fresca a partir de la separación de sal de agua de mar o agua salobre. El agua de mar es muy abundante y constituye una fuente confiable de agua fresca, con alto potencial para satisfacer con el incremento continuo de demanda de agua fresca.

La desalinización consiste en separar las sales de minerales disueltas contenidas en el agua salada para convertirla en un agua adecuada para consumo humano, uso industrial o el riego en la agricultura. La escasez de agua se estima que afecta a una de tres personas en cada continente del mundo (Organización de las Naciones Unidas, 2013) y casi una quinta parte de la población mundial vive en zonas donde el agua es escasa. Esta situación se espera empeore a medida que las necesidades que compiten por el agua se intensifiquen con el crecimiento demográfico, la urbanización, los impactos del cambio climático y otros usos del vital líquido. La desalinización se puede aplicar a las aguas de diferentes niveles de salinidad, tales como agua subterránea salobre o agua de mar.

Reducir las necesidades de energía y por lo tanto el costo es el mayor desafío, ya que los consumos de energía son altos para cualquier tecnología desalinizadora. Hoy en día tenemos otras fuentes de energía, como son la solar, eólica y mareomotriz. Necesitamos ser más eficientes para desbloquear estas poderosas fuentes de energía, por lo tanto, es esencial continuar las investigaciones sobre la energía limpias y nuevas tecnologías para desalinizar el agua y de esta manera satisfacer las necesidades humanas, así como la incorporación de fuentes verdes

y lograr procesos más eficientes, estas fuentes y procesos a menor costos y menor deterioro de nuestro planeta.

En la actualidad, el calor y la luz del sol puede aprovecharse por medio de captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que pueden ayudar a resolver algunos de los problemas más urgentes que afronta la humanidad.

Además, así como existen tecnologías consolidadas para desalinizar y se tiene la necesidad global de mejorar para facilitar un cambio decisivo en el costo total de agua desalada (Cipollina, 2012), se realizan investigaciones para desarrollar nuevas tecnologías que sean igual o mayormente competitivas que las actuales, y se espera puedan desarrollarse a nivel industrial. Cada una de estas tecnologías ofrece una gama de oportunidades de mercado que proporcionan el incentivo para realizar inversiones de riesgo. Por lo tanto, es el producto que se obtiene al renovar la tecnología que ya antes se ha desarrollado con el fin de obtener mayores beneficios.

Conocer cómo pueden evolucionar y desarrollarse nuevas tecnologías es de suma importancia, así se puede dirigir la toma de decisiones apropiadas de inversión o adquisición, en investigación y tecnología respectivamente que puedan adaptarse tecnológica y económicamente a las condiciones de cada situación. El desarrollo futuro tiene que orientarse ya no sólo a la mejora de los aspectos técnicos productivos, sino también será preciso desarrollar otras facetas a reducir el impacto negativo sobre el medio ambiente.

El desarrollo de este trabajo trata de una de esas opciones tecnológicas.

PROBLEMÁTICA

El calentamiento global, el alza en el precio de los combustibles, las emisiones de dióxido de carbono y la escases de agua, representan problemas que involucran a toda la sociedad y a los principales emisores contaminantes como los son las industrias, y que a su vez los comprometen a generar y utilizar energías limpias. El ambiente en la tierra se está deteriorando a causa de las actividades antrópicas, a tal grado que se pone en riesgo la propia supervivencia de la especie humana afectando ríos, lagos, mantos acuíferos, etc.

Uno de los mayores desafíos del siglo XXI es asegurar la suficiente energía y agua para el bienestar de la humanidad, manteniendo, al mismo tiempo la salud ecológica, integridad y capacidad de recuperación de las cuencas hidrográficas. Las personas utilizamos el agua habitualmente con tres fines principales: uso doméstico, uso agrícola y uso industrial.



Figura 1.- El hombre y el planeta

En la actualidad se avecina una crisis energética y ambiental (ver figura 1), ya que los sistemas de producción y de vida prevalecientes son fuertemente dependientes del uso de combustibles fósiles; mientras que su extracción y producción está en decremento. Desde esta perspectiva, el presente trabajo pretende contribuir a obtener agua del mar y a la preservación y conservación ambiental.

DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

El presente trabajo pretende en principio obtener agua potable a través del agua de mar, para consumo humano, así como su aplicación en diferentes usos industriales y agrícolas. Con el fin de coadyuvar con el medio ambiente en esta obtención de agua potable se utilizará acetona para efectuar el proceso de precipitación química, el cual pretendemos reincorporarlo al proceso al terminar su función, esto con el fin de no generar deterioro ambiental y tener un proceso rentable.

En dicha operación como se comentó se evitaran los excesivos consumos de energía eléctrica o energía fósil que otros procesos de desalinización poseen, posteriormente se requerirá una nueva separación entre la acetona y el agua, esta segunda operación se efectuara por destilación simple la cual será promovida por energía solar, para lo que pretendemos crear un innovador colector solar, su funcionamiento base del equipo es el principio del termosifón (ver figura 2). La construcción del colector será a partir de materiales de reusó (latas de aluminio, fierro y madera) y económicos (policloruro de vinilo clorado).

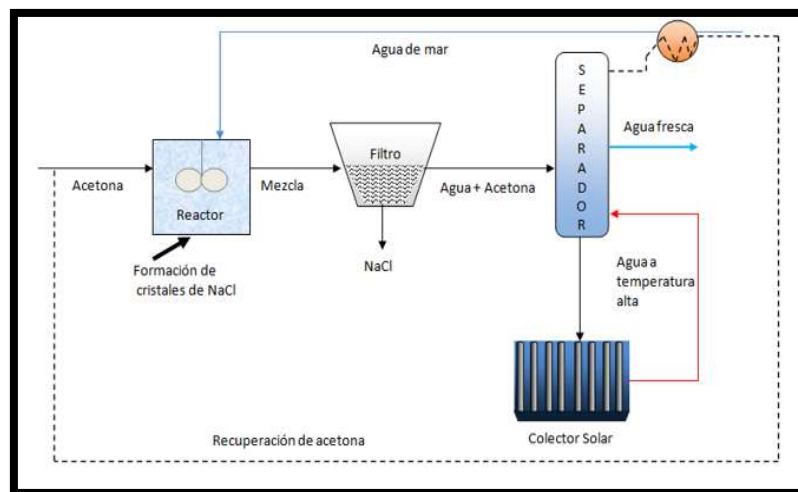


Figura 2.- Diagrama Diseño Tesis

La sustentabilidad se refiere a la administración eficiente y racional de los recursos, de manera tal que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras. Uno de los principales retos que enfrenta el mundo en materia de desarrollo sustentable es incluir al medio ambiente como uno de los elementos de la competitividad y el desarrollo económico y social. Entre los factores clave del desarrollo sustentable, se encuentra el crecimiento poblacional, la demanda energética, el cambio climático, la escasez de recursos y del agua, y el manejo de residuos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

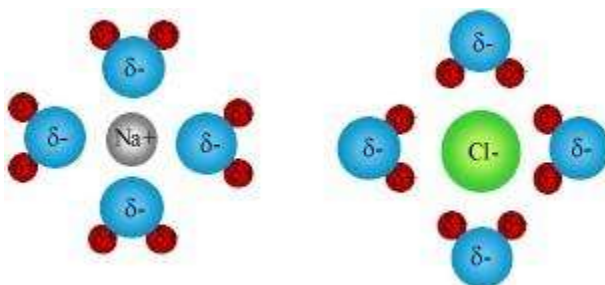
Desalinizar agua de mar mediante un proceso sostenible y autosuficiente, a partir del agua de mar o agua salobre mediante un proceso sostenible y autosuficiente. Además del uso de energías alternas limpias para contribuir de manera positiva al cambio climático.

OBJETIVO PARTICULAR

- ✓ Desalinizar el agua de mar a través de acetona el cual sea recuperado y reintegrado al proceso con ayuda de la energía solar.
- ✓ Obtener agua con un menor contenido de solidos apta para diferentes aplicaciones.
- ✓ Agua tratada como alimentación a otros procesos de desalinización para disminuir costos.
- ✓ Uso de energía solar como fuente principal
- ✓ Disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera y el uso de combustibles fósiles.
- ✓ Uso de energía solar
- ✓ Uso de materiales reciclados
- ✓ Generar colectores solares elaborados con materiales de reusó y económicos.

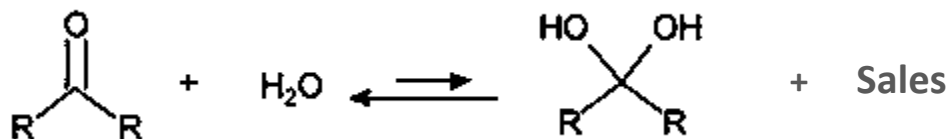
HIPOTESIS EXPERIMENTAL

El agua de mar es que compone los océanos y mares de la tierra. Es salada por la concentración de sales minerales disueltas que contiene, en su mayoría Na^+ y Cl^- , un 3,5% (35 g/L) como media. La cohesión de los átomos de Na^+ y Cl^- con las moléculas de H_2O proviene de los enlaces electrostáticos que existen entre partículas cargadas y/o polarizadas. El cloruro de sodio (NaCl) es de hecho la unión de un ion Na^+ y de un ion Cl^- que se atraen mutuamente bajo el efecto de la atracción electrostática, por otro parte las moléculas de agua son eléctricamente neutras pero su geometría las hace polarizables, es decir, que las cargas positivas y negativas están colocadas una frente a la otra.



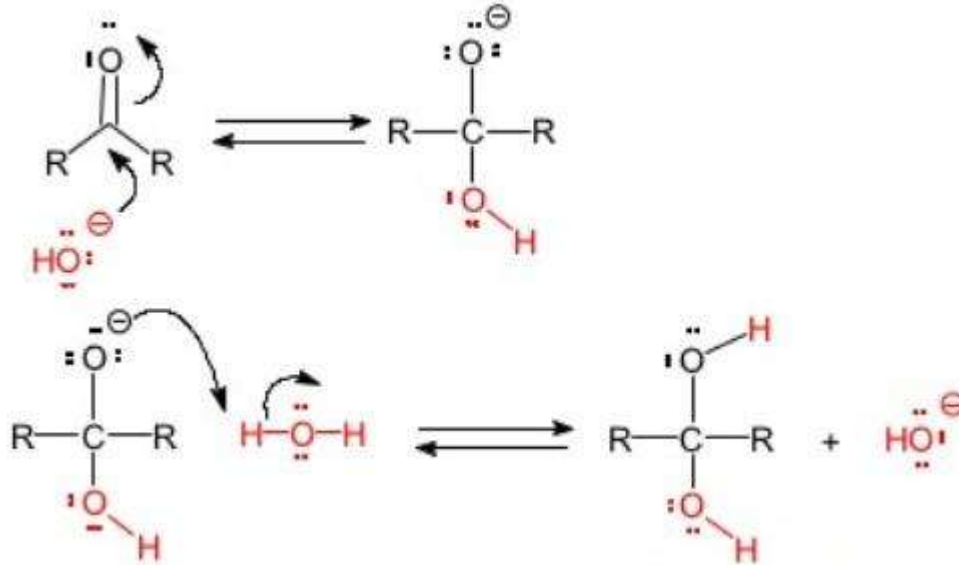
A esta solución salina le adicionamos acetona para formar hidratos (dioles) y NaCl

Reacción:



En la reacción la acetona entra en equilibrio con su forma hidratada un diol geminal y libera los iones de Cl^- y Na^+ que posteriormente forman el compuesto cristalino “sal”. La reacción de hidratación se lleva a cabo mediante el mecanismo de adición nucleofílica al grupo carbonilo.

Mecanismo de la hidratación



La incorporación de acetona a una solución salina, hará precipitar químicamente cristales de NaCl procedente de la solución antes mencionada, las razones son de orden polar, ya que la acetona es un disolvente polar aprotico. Ésta propiedad hace que los iones de Na^+ y de Cl^- se desprendan de las moléculas de agua, ya que la acetona ejerce una atracción más fuerte de las moléculas de agua.

Ahora bien el agua es un disolvente polar prótico que posee un grupo funcional con la capacidad de ceder protones y formar puentes de hidrógeno con una alta constante dieléctrica y un momento dipolar elevado. Por otra parte como ya se dijo antes la acetona es un disolvente polar aprótico que carece de grupo funcionales con la capacidad de ceder protones con una constante dieléctrica alta.

Conforme aumenta la temperatura y la presión, las propiedades del agua varían. Por ejemplo, la constante dieléctrica disminuye y se hace más similar a la de los disolventes orgánicos, disminuyendo la solubilización de sustancias iónicas. A alta temperatura y presión disuelve compuestos orgánicos, transcurriendo los procesos en fase homogénea y con ello se facilita la separación del soluto (por enfriamiento), siendo capaz de eliminar residuos.

Por otro lado la solución final resultante será una mezcla agua-acetona a una concentración específica, cristales de NaCl los cuales son extraídos de la mezcla. Esta solución final resultante es separada mediante calor proveniente de energía solar, hasta la obtener agua potable. En la tabla 1 se muestra la solubilidad de NaCl en diversos disolventes.

Tabla 1.- Solubilidad de NaCl en diversos solventes

Solubilidad de NaCl en diversos disolventes (g de NaCl / 1 kg de solvente a 25 ° C)	
Solvente	g NaCl / kg solvente
Agua	360
Formamida	94
Glicerina	83
Glicol de Propileno	71
Ácido fórmico	52
Amoniac liquido	30.2
Metanol	14
Etanol	0.65
1-Propanol	0.124
Sulfolano	0.05
1-Butanol	0.05
2-Propanol	0.03
1-Pentanol	0.018
Acetonitrilo	0.003
Acetona	0.00042

Fuente: Iones metálicos en solución N.Y.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcance.- Obtener agua con conductividades por debajo de los 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Limitación.- Utilizar destilación simple en la separación de agua acetona.

CAPITULO 1 ANTECEDENTES

1.1 NECESIDAD DE DESALINIZAR AGUA

Cada día los seres humanos realizan diversas actividades que, directa o indirectamente implican el uso de agua, a menudo en cantidades muy grandes. El agua es necesaria en todas las actividades industriales, en la agricultura y para fines domésticos (ver figura 1.1).

El consumo per cápita puede variar considerablemente en función del área geográfica del mundo, con diferencias grandes. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que la cantidad adecuada de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal y limpieza del hogar) es de 50 litros por habitante día. A estas cantidades debe sumarse el aporte necesario para la agricultura, la industria y, por supuesto, la conservación de los ecosistemas acuáticos, fluviales y, en general, dependientes del agua dulce. Teniendo en cuenta estos parámetros, se considera una cantidad mínima de 100 litros por habitante día (Ambientum, 2009)



Figura 1.1 Escases de agua

Hay varios factores que han contribuido al aumento de la demanda de agua dulce, entre los que destacan el crecimiento demográfico mundial y la mejora general en la calidad de vida en todos los niveles. Se espera que para el año 2040 la demanda mundial de agua dulce sea mayor que la cantidad disponible (Raha 2011). Un escenario futuro requiere la mayor consideración y los esfuerzos deben hacerse con el fin de asegurar el cumplimiento constante de la demanda de agua dulce. Los científicos y técnicos han trabajado para optimizar la gestión de los recursos de agua convencionales a fin de lograr una mayor eficiencia en la uso del agua.

Cada vez más países tienen problemas de escasez de agua, lo que apunta a las alternativas de fuentes no convencionales de agua. La desalación o desalinización de agua de mar ha demostrado ser un recurso confiable y económicamente factible desde la segunda mitad del siglo XX.

1.2 ENERGIAS RENOVABLES.

El concepto de energía renovable se refiere a todos los tipos de energía que se obtiene de fuentes naturales y que además tienen la inmensa capacidad de regenerarse por sí misma, lo que las convierte en virtualmente inagotables.



Figura 1.2 Fuentes Naturales

Dichas energías se incluyen:

- 1.- Energía Solar
- 2.- Eólica
- 3.- Hidráulica
- 4.- Geotérmica
- 5.- Mareomotriz
- 6.- Biomasa

Actualmente el uso de las energías renovables representa tan solo el 20 por ciento del consumo mundial de electricidad, dentro del cual el 90 por ciento proviene de métodos hidráulicos. El resto está conformado por biomasa (5.5 %), geotermia (1.5%), eólica (0.5%) y solar (0.1%), entre otras formas de energía.

Paradójicamente, aun cuando el 80 % de los requerimientos de energía de las sociedades industriales occidentales provienen de necesidades relacionadas a la calefacción y climatización de edificios y al transporte (automóviles, aviones, trenes); la mayor parte de las aplicaciones desarrolladas alrededor de la energía renovable se concentra en producir electricidad.

Dentro de las denominadas energías renovables limpias, sobresale la radiación procedente del sol, la cual puede aprovecharse de diferentes formas: la energía solar fotovoltaica, que emplea el efecto fotoeléctrico descubierto por Einstein; la energía solar térmica, que utiliza dicha radiación de manera distinta, calentando el agua que fluye a través de pequeños conductos para ser utilizada en los hogares, piscinas, hospitales, hoteles, procesos industriales y calefacción; una variante de esta última son aquellas centrales termoeléctricas que con base en espejos cóncavos concentran la radiación solar sobre cierto tipo de acumuladores que, al ser refrigerados con agua fría, producen vapor a alta presión, el cual se inyecta en sistemas de turbinas acondicionadas para generar electricidad (sistema similar al empleado en las centrales nucleares). Sin embargo, la tendencia a mediano y largo plazo se centra en el uso del hidrógeno, el elemento más simple y común del Universo, posibilidad en la que convergen estudios y opiniones diversas institucionales y expertos en el tema medioambiental. Las aplicaciones de dicho elemento pueden clasificarse en dos tipos: las celdas de combustibles, que cuentan con avances prácticos disponibles hoy en día, con la ventaja adicional de que su único subproducto es el vapor de agua, y otras aplicaciones más revolucionarias, basadas en la fusión nuclear, método que se lleva a cabo al interior del sol, con una capacidad inmensa de producir energía.

Por consiguiente y tomando en cuenta que estas tecnologías ya están disponibles en mayor o menor medida en el concierto mundial, es urgente configurar una estrategia que permita fomentar su uso y desarrollo en nuestro país, ya que en el mediano plazo representará una cuestión de independencia y seguridad nacional el contar con ellas, dada la disminución prevista de las reservas petroleras. Este hecho justifica plenamente la acción inmediata para adelantarse a que dichas reservas estén peligrosamente disminuidas o definitivamente agotadas pues, de no poner en práctica medidas drásticas, el plazo para sostener un ritmo de vida como el actual se habrá acabado.

Del mismo modo, la acción tardía pondrá en riesgo al país de que se trastoque su esquema de participación en el mercado internacional de energéticos; es decir, hoy en día aun somos un país exportador de crudo, lo cual, entre otros aspectos, nos permite captar ingresos del exterior y no depender de un grado importante de otras naciones en esta materia, pero en el momento que esta condición cese y se revierta, la dependencia de México respecto de los países que hayan desarrollado tecnologías energéticas alternas será aplastante y la necesidad de recursos para adquirirlas difícilmente será satisfecha.

1.3 ENERGIA SOLAR

Durante siglos, tanto el hombre como los demás seres vivos han aprovechado la energía solar, no sólo como una opción energética sino como fuente de vida, pues sin esa estrella no habría vida en la tierra. El cuerpo humano produce vitamina D cuando los rayos ultravioleta provenientes del sol llegan a la piel. La vitamina D es esencial para el crecimiento de los huesos. Nuestro organismo, como necesita alimentos, depende indirectamente de la energía solar, pues ésta es indispensable para que se lleven a cabo las reacciones de la fotosíntesis. De hecho, las plantas pueden almacenar 1% de la radiación solar que les llega. Debido a que todos los seres vivos se alimentan unos de otros, formando una gran cadena alimenticia, toda la flora y la fauna terrestre vive gracias al aprovechamiento directo o indirecto de la energía solar. Prueba de esto es que más de 90% del material orgánico que permite la vida marina, llamado fitoplancton, se halla precisamente en aquellas capas del océano donde llega la luz del sol.

Si queremos mantener las condiciones naturales de vida es necesario que no alteremos mucho el medio, pues dichos cambios pueden volverse en nuestra contra. Entre los casos más conocidos se encuentran los daños provocados por las explosiones nucleares, los materiales no degradables, los contaminantes químicos, los desechos industriales, los cambios en la capa de ozono de nuestra atmósfera, etcétera. Pero esos daños, de los cuales nos mantiene al tanto la ecología, no preocupaban a los hombres del pasado.

La acción de una fuente de energía prácticamente inagotable como el Sol se aprecia en muchos fenómenos cotidianos. Un experimento sencillo pero ilustrativo para observar el aprovechamiento de la energía solar consiste en concentrar los rayos del Sol en un punto para producir fuego. Esto lo podemos hacer con una lupa, cuando no tengamos a la mano cerillos. El punto donde se concentran los rayos de luz se llama foco de la lupa. Pero el experimento podría hacerse más interesante si utilizáramos una lupa de hielo; de esta forma estaríamos produciendo fuego a partir del agua.

En las últimas décadas, la energía solar ha cobrado importancia como fuente energética, puesto que las reservas de combustibles fósiles no son eternas. Esto ha ocasionado que, por ejemplo, sean parecidos los precios de un calentador solar y de uno de gas, lo que no sucedía hace 60 años. Así, con respecto a los costos, los sistemas solares son cada vez más necesarios, con la gran ventaja de que el combustible, la luz del sol, aparece todas las mañanas sin cobrar.

Debe quedar claro que la energía solar no constituye ninguna panacea universal de la cual los hombres obtendrán todo lo que necesitan. La energía solar

contribuye modestamente como otra posibilidad energética y no se trata de defenderla como la única fuente de energía. Un planteamiento realista sería considerarla seriamente como una opción energética con sus deficiencias tecnológicas, sus desventajas económicas actuales y sus ventajas a largo plazo.

En nuestro país, que posee regiones con el promedio mundial de insolación o soleamiento anual más alto, el aprovechamiento de la energía solar constituye, sin lugar a dudas, una buena opción. El que esta fuente de energía sea rentable depende de las investigaciones que se realicen, de los recursos económicos destinados a su estudio y del interés que se preste a su desarrollo. Actualmente la energía solar no contribuye con ningún porcentaje al consumo energético nacional, aunque ya empieza a contar y es deseable impulsarla.

1.3.2 UN FOCO CELESTE

El sol es una estrella común y corriente. Esto quiere decir que en el universo existen millones de estrellas como ésta. Sin embargo, aquéllas se localizan a miles de millones de kilómetros de nuestro planeta y por esta razón, para nosotros no son más que débiles puntos de luz en el firmamento. La estrella más cercana a la tierra es el sol, que se encuentra a 149 450 000 km de distancia; nuestra estrella tiene un diámetro de 1 391 000 km, aunque para nosotros no es más que un plato amarillo de unos cuantos centímetros de diámetro. Tiene una masa de 2×10^{30} kg, cifra difícil de imaginar para nosotros, que estamos acostumbrados a las masas de los objetos terrestres, pero es 333 veces más pesado que la tierra.

El núcleo del sol tiene una temperatura de 15 millones de °C y ésta va disminuyendo hasta llegar a la superficie solar, donde la temperatura promedio es de 5770 °C, más que suficiente para derretir un automóvil.

En el interior del sol, como en todas las estrellas, se llevan a cabo reacciones de fusión nuclear. En este tipo de reacciones se unen los núcleos de átomos ligeros, como el hidrógeno y el helio, en el proceso se liberan grandes cantidades de energía; la energía que nos envía el sol es, por lo tanto, de origen nuclear. Dos núcleos de deuterio (isótopo del hidrógeno) se fusionan y transforman en helio; los núcleos de helio, en carbono, y así sucesivamente hasta constituir elementos cada vez más pesados. Actualmente, el sol está compuesto de 73.46% de hidrógeno y 24.85% de helio (el resto son elementos más pesados).

Durante las reacciones nucleares, parte de la masa de las partículas que intervienen se convierte en energía, la cual se puede calcular empleando la fórmula de Einstein $E=mc^2$ (donde E equivale a la energía, m es la masa y c es la

velocidad de la luz, que es igual a 300 000 km/s). De esta forma, el sol irradia la energía proveniente de la fusión de los núcleos atómicos que lo componen y como lo hace en todas direcciones, una parte nos llega a la tierra. El Sol existe desde hace 4 600 millones de años y se cree que seguirá viviendo durante un periodo similar; por lo tanto, para cualquier fin práctico, el sol es una fuente inagotable de energía.

1.4 COLECTOR SOLAR PLANO

En los últimos años se está produciendo un aumento notable de instalaciones de energía solar térmica en el mundo; los avances tecnológicos permitieron la fabricación de sistemas de mejor calidad y a menor costo y la sociedad está entendiendo la necesidad de sustituir los combustibles fósiles.

Los colectores solares son dispositivos utilizados para coleccionar, absorber y transferir energía solar a un fluido, como puede ser agua, glicol, salmuera, aceite, aire entre otras. Este fluido se aprovecha por el hombre para uso doméstico, comercial e industrial.

Un captador solar plano, también llamado colector solar o panel solar térmico, es un dispositivo que sirve para aprovechar la energía de la radiación solar (directa, difusa y reflejada) transformándola en energía térmica. Los colectores de placa plana son sofisticados invernaderos que atrapan y utilizan el calor del sol para aumentar la temperatura del agua hasta alrededor de los 115 °C. Consisten en una caja herméticamente cerrada con una cubierta de vidrio algún otro material transparente. En su interior se ubica una placa de absorción la cual está en contacto con unos tubos por los que circula un líquido que transporta el calor. Captan la radiación directa y la difusa; no tiene que estar orientado directamente hacia el sol, su mantenimiento es mínimo; correctamente diseñado y construido su vida útil del calentador puede ser de 10 a 15 años dependiendo de su diseño. El costo de la energía suministrada por un calentador solar plano depende de su rendimiento térmico, su costo instalado y su vida efectiva.

Se puede instalar en una azotea o en un patio no requiere mecanismos para variar su Angulo con la posición del sol. Su temperatura máxima de operación en condiciones óptimas es de 65.5 °C a 115°C (ver figura 1.4).



Figura 1.4 Colector Solar plano

1.4.1 CARACTERÍSTICAS Y RENDIMIENTO DEL COLECTOR SOLAR PLANO

El rendimiento es la cantidad de energía extraída por el agua que circula en el calentador, expresada en fracciones de cantidad total de energía solar que incide sobre el calentador; dicho de otra forma si el calentador recibe 5 kWh de energía solar y contribuye con 2.5 Kwh al calentamiento del agua, esto quiere decir que el calentador trabaja con una eficiencia del 50%.

Generalmente los calentadores trabajan con una eficiencia que va del 30% al 70%. Para optimizar el rendimiento de un calentador es necesario:

- 1.- Tener un buen aislamiento térmico en la caja
- 2.- La placa metálica deberá ser de color negro mate intenso.
- 3.- Los cristales de la tapa superior no deberán ser ferrosos ni estar manchados
- 4.-La caja deberá estar sellada herméticamente

Los calentadores solares planos no alcanzan el 100% de eficacia, ya que solo el 58% de la radiación que incide en el cristal del calentador es traspasado al fluido interior de los tubos en la placa absorbida.

Para obtener temperaturas superiores es necesario emplear superficies selectivas o concentrar la luz del sol antes de la recogida y orientar los calentadores.

El rendimiento se mide como la razón entre la energía captada y la energía que incide sobre el calentador, es decir, (energía disponible) expresada:

$$\text{Energía captada} / \text{Energía disponible} \times 100 = \% \text{ de eficiencia del calentador.}$$

Tres factores principales que influyen en la eficiencia del calentador plano.

- 1.-La razón a la cual se extrae el calor del calentador.
- 2.-Las pérdidas de calor en el calentador.
- 3.-La cantidad de energía transmitida a través de la cubierta y absorbida por la placa.

CAPITULO 2 MARCO TEORICO

2.1 DATOS DE RECURSOS HÍDRICOS

El agua es una de las sustancias más abundantes presentes en la tierra; el agua de mar es de aproximadamente el 97.5% del total de agua disponible, mientras que el restante 2.5% es constituido por las aguas subterráneas y superficiales. De esta, el 69.6% es el agua congelada en los glaciares, un 30% es agua subterránea, de manera que sólo el 0.4% de la cantidad total disponible se encuentra en lagos, ríos y acuíferos como se muestra en la figura 2.1.

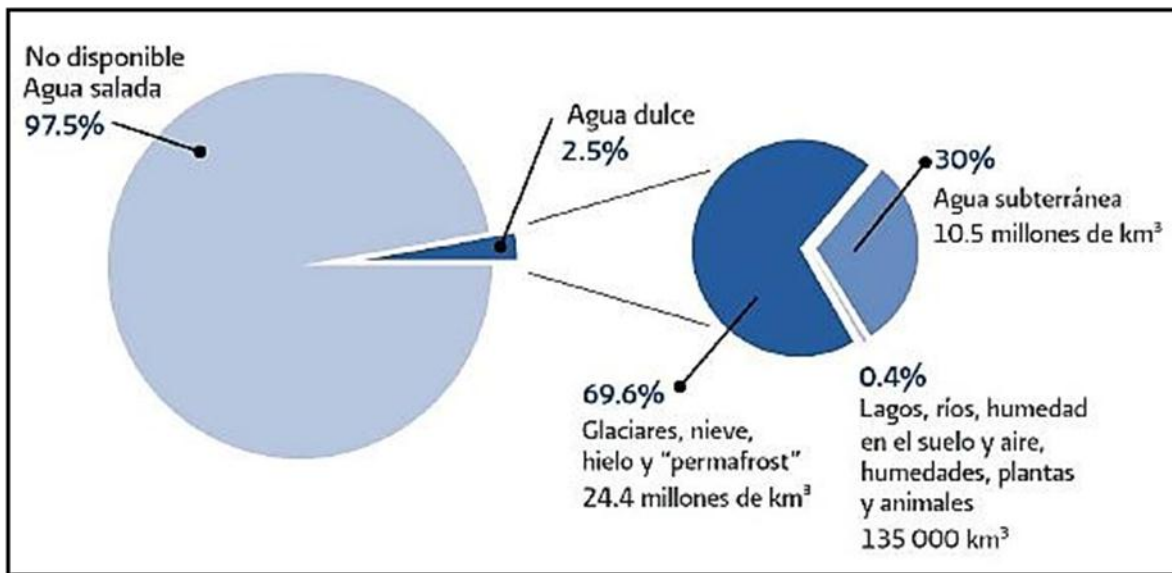


Figura 2.1.- Agua disponible en el planeta, (Clarke y King, 2011)

En la figura 2.1.2 se muestra el ciclo del agua que 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, sólido y viceversa. 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 precipitación cae sobre la tierra, donde, debido a

la gravedad, corre sobre la superficie como escurrimiento superficial. Una parte de este escurrimiento 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 escurrimiento y el agua subterránea que brota hacia la superficie se acumula y almacena en los lagos de agua dulce.



Figura 2.1.2-Ciclo del Agua

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 (roca subsuperficial saturada), 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 (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2012).

La disponibilidad local de agua dulce depende del nivel de precipitación. En zonas donde la lluvia es abundante, el agua dulce es también abundante. Por el contrario, en tierras áridas, donde la lluvia es escasa, el agua dulce igualmente lo es. Las aguas dulces difieren sustancialmente de aguas marinas por la cantidad relativa de sales contenida en ellos. La tabla 2.1 muestra una clasificación de las aguas naturales con base en su contenido salino.

Tabla 2.1.1- Tipos de agua según la cantidad de sales contenidas

Tipo	Salinidad (ppm de SDT)
Ultrapura	0.03
Pura (calderas)	0.3
Desionizada	3
Dulce (potable)	1500
Salobre	1000-10,000
Salina	10,000-30,000
Marina	35000
Salmuera	> 50,000

SDT: Sólidos Disueltos Totales. Fuente: Lenntech

Las aguas dulces pueden tener salinidad hasta de 1500 ppm, las aguas salobres presentan la salinidad en el rango de 1000-10000 ppm, mientras que la salinidad del agua de mar se es comúnmente 35000 ppm. La baja salinidad puede ser el resultado de la presencia de flujo de los ríos y capas de hielo de fusión, así como debido a la abundancia de las precipitaciones. La salinidad alta puede ser el resultado de la lejanía de la tierra y de las altas temperaturas que promueven evaporación. En la tabla 2.1.2 se muestra los tipos de agua según su uso (Calderón, 2010).

Tabla 2.1.2.- Tipo de agua.

Origen	CE dS/m	SDT (mg/l)	Tipo
Aguas de abastecimiento urbano	< 0.7	< 500	Desionizada
Aguas de riego	0.7 – 2	500 – 1500	Potable
Aguas de drenaje	2 – 10	1500 – 7 000	Salobre
Aguas subterráneas	10 – 20	7000 – 15 000	Salina
Agua de mar	> 45	35 000	Marina

Fuente: Sistema Municipal Agua Potable y Alcantarillado, Sureste Mexicano.

2.2 CARACTERISTICAS DEL AGUA DE MAR

El agua de mar compone los océanos y mares de la Tierra. Es salada por la concentración de sales minerales disueltas que contiene, un 35‰ (3,5% o 35 g/L) como promedio, entre las que predomina el cloruro sódico, también conocido como sal de mesa. La densidad media en superficie es de 1,025 g/ml, siendo más densa que el agua dulce y el agua pura. A mayor contenido en sal más bajo su punto de fusión, por lo que el agua del mar se convierte en hielo sobre los -2°C , si bien se ha registrado una corriente en la Antártida a $-2,6^{\circ}\text{C}$. El océano contiene un 97,25% del total de agua que forma la hidrosfera.

La salinidad media del agua de mar de referencia se toma como 35000 ppm. La composición típica del agua de mar se muestra en la tabla 2.3. Los principales componentes químicos encontrados en agua de mar son esencialmente de sodio (30%) y cloruro (55%), es decir, los componentes de la sal de mesa común, que representan 85% del contenido total de sólidos disueltos del agua de mar; el sulfato y magnesio también son abundantes, con un porcentaje de casi 8 y 4%, respectivamente. Aunque la salinidad del agua de mar puede variar dependiendo de la región específica, la composición porcentual del agua de mar es esencialmente constante a lo largo el mundo.

Tabla 2.2.1.- Componentes químicos del agua de mar

Ion químico	Concentración (ppm)	Porcentaje del total de sal (%)
Cloro Cl^-	19,345	55.0
Sodio Na^+	10,752	30.6
Sulfato SO_4^{2-}	2,701	7.6
Magnesio Mg^{2+}	1,295	3.7
Calcio Ca^{2+}	416	1.2
Potasio K^+	390	1.1
Bicarbonato HCO_3^-	145	0.4
Bromo Br^-	66	0.2
Borato BO_3^{3-}	27	0.08
Estroncio Sr^{2+}	13	0.04
Flúor F^-	1	0.003

Fuente: Hanna Instruments.

Tabla 2.2.2.- Propiedades termodinámicas agua de mar 35000 ppm de salinidad a 23 °C.

Propiedades Termodinámicas	
Densidad (kg/m ³)	1.024
Viscosidad (Pa·s)	1.074X10-3
Calor específico (kJ/kg°C)	3.998
Presión osmótica (Pa)	2700000
Elevación del punto de ebullición a 293.15 K	32
Elevación del punto de ebullición a 373.15 K	51

Fuente: Hauser 2011.

La presión osmótica y la elevación del punto de ebullición son propiedades fundamentales en el diseño y funcionamiento de las membranas y los procesos térmicos de desalinización. La presión osmótica es una propiedad coligativa, depende solamente de la concentración del soluto y se manifiesta en presencia de una membrana semipermeable entre dos disoluciones; se debe al flujo de agua a través de la membrana, que sirve de barrera a la sustancia disuelta. El agua se difunde así a través de la membrana y genera una contrapresión que se opone al flujo. La elevación del punto de ebullición se debe al efecto del soluto sobre la entropía del solvente. Este parámetro afecta principalmente a la evaporación del agua de mar, por lo tanto influye en el rendimiento global en los procesos de evaporación.

2.2.1 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

El agua de mar presenta una elevada conductividad eléctrica, a la que contribuyen la polaridad del agua y la abundancia de iones disueltos. Las sales en agua se disocian en iones. Un ion es un átomo cargado positiva o negativamente y que, por tanto, intercambia electrones con el medio. Pueden absorber y liberar electrones a las partículas vecinas. La conductividad varía sobre todo con la temperatura y la salinidad (a mayor salinidad, mayor conductividad), y su medición permite, controlada la temperatura, conocer la salinidad.

2.3 PROCESOS PARA DESALINIZAR EL AGUA

La clasificación de los procesos de desalinización que se muestra en la figura 2.3 se hace con base en el proceso de separación utilizado. El primer grupo está formado por los procesos térmicos, donde la separación se produce al añadir o eliminar calor para obtener agua pura a partir de la solución salina. Lo más común

es la evaporación, que se adoptó para producir agua pura en forma de un vapor a partir de agua salada. El vapor se condensa y el calor de condensación se recupera habitualmente para precalentar la corriente de alimentación. El segundo grupo está compuesto por los procesos de membrana, donde la separación se produce por medio de membranas selectivas. Cuando las membranas semipermeables se usan, el agua puede pasar a través de la membrana en la corriente de permeado, mientras que las sales son rechazadas.

En el proceso de ósmosis inversa, la fuerza motriz para la separación, es una diferencia de presión entre las caras de la propia membrana, así se fuerza al agua a pasar a través de una membrana semi-permeable, desde una solución más concentrada en sales disueltas u otros contaminantes a una solución menos concentrada. En el proceso de electrodiálisis se emplean varias membranas ion-selectivas en forma de celdas, cada celda consiste en una membrana catiónica y otra aniónica. Éstas se colocan en la solución a depurar, se coloca un par de electrodos en la misma y se aplica una corriente eléctrica; así los aniones y cationes presentes como soluto migran hacia el ánodo y el cátodo respectivamente, atravesando las membranas catiónica y aniónica según corresponda, y forman parte de una solución más concentrada, obteniéndose como producto un agua libre de minerales.

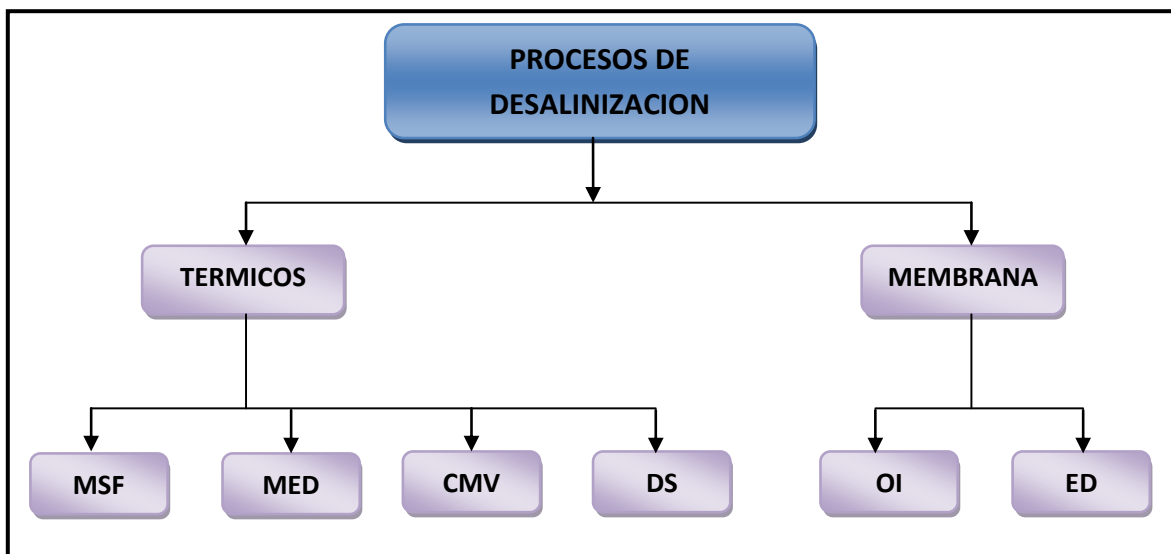


Figura 2.3.1.- Clasificación de las tecnologías de desalinización por el tipo de proceso utilizado (Cipollina, 2010).

Ambos métodos obtienen como resultado dos caudales; un caudal de agua limpia con baja concentración de sales y un caudal con alta concentración de sales.

Ambos métodos requieren energía para su operación. El consumo de energía en los procesos de membrana depende de la salinidad de agua de alimentación (Cipollina, 2010).

Para producir agua potable se deben de emplear adecuados procesos de separación. La terea puede llevarse acabo de diferentes maneras, todas ellas basadas en el principio de que el agua y la sal no se separan espontáneamente, requiere de alguna fuente de poder capaz de generar energía para el proceso de separación. Históricamente la primera planta desalinizadora fue basada en la evaporación a través de calor proveniente de procesos de combustión.

Recientemente el desarrollo de materiales como modernos poliméricos ha permitido la producción de membranas las cuales permiten el paso del agua o iones, proporcionando así la base para el proceso de desalinización a través de membrana. En general, las tecnologías de desalinización pueden ser clasificadas de acuerdo a tres criterios: 1. Lo que se extrae del agua de mar. 2. Tipo de proceso adoptado. 3. El tipo de energía usada. En la figura 2.4 se muestran las principales tecnologías para la producción de agua fresca, entre las que destacan la Destilación Multiefecto (MED), Multietapa Flash (MSF) y Osmosis Inversa (IO).

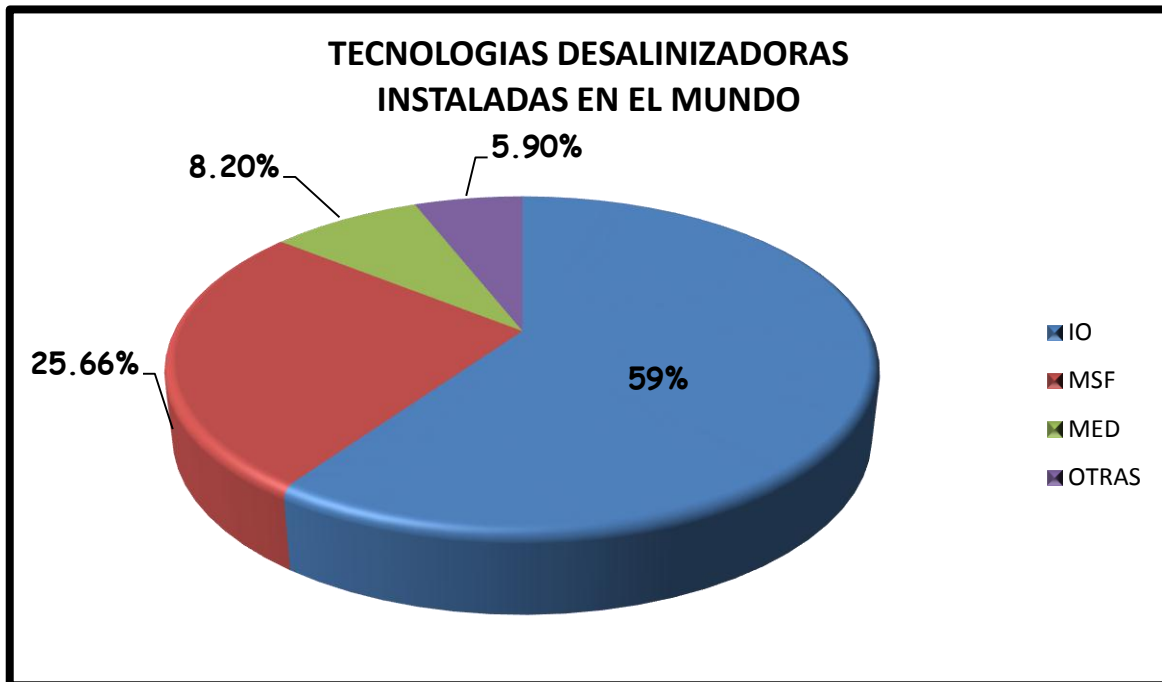


Figura 2.3.2.- Tecnologías desalinizadoras instaladas en el mundo.

2.3.1 PROCESOS TÉRMICOS

El método térmico básicamente consiste en aplicar al agua energía en forma de calor para evaporarla y luego condensarla. El condensado se recolecta en forma de agua dulce o baja en sales.

2.3.2 DESTILACIÓN MULTI-ETAPAS FLASH (MSF) VACIO DECRECIENTE

El objetivo de este proceso es obtener agua destilada a través de un sistema multi-etapas que opera a distintas presiones de vacío. El proceso de destilación Multi-Etapas Flash se basa en calentar el agua de mar o salobre hasta una temperatura de 90 a 120 ° C con vapor procedente de una fuente externa, generalmente una central de cogeneración, y conducirla hasta una zona a una presión inferior, en la cual se produce una evaporación súbita de agua destilada y una salmuera concentrada como se muestra en la figura 2.3.2 (Cipollina et al., 2009). El vapor de agua llega a un condensador donde se enfría con agua de mar entrante en la planta y se recoge en estado líquido. El agua de mar se calienta en el condensador, reduciéndose el consumo energético total del proceso. Si la salmuera se pasa sucesivamente a zonas de presión inferior, se sigue produciendo evaporación del agua. Este proceso se puede repetir en múltiples etapas que pueden ir de 4 a 40 (Cipollina et al., 2010).

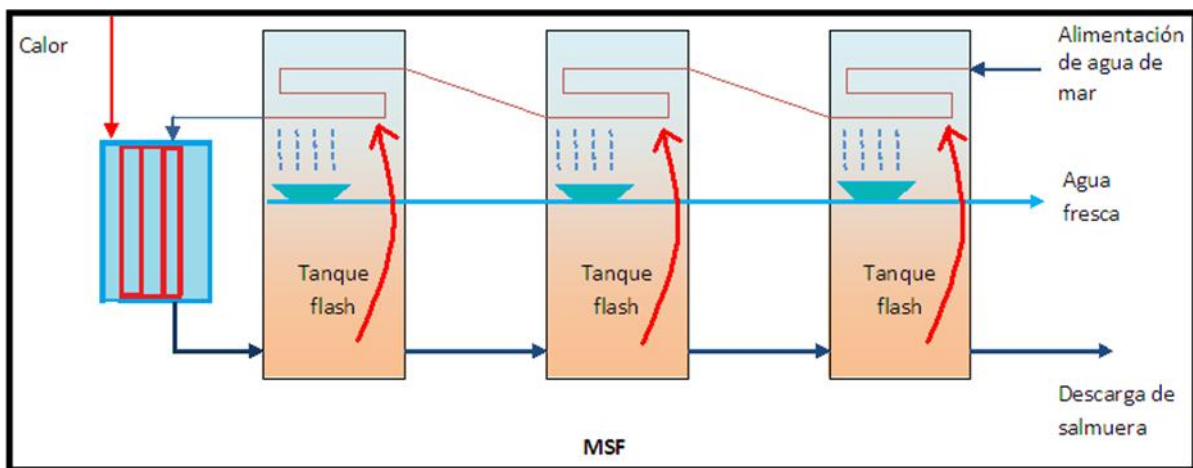


Figura 2.3.2.- Desalación por destilación súbita. Fuente: Agencia para el Desarrollo de los Estados Unidos.

2.3.3 DESTILACIÓN MULTIEFECTO (MED) VACIO CONSTANTE

Se produce agua destilada a partir de agua de mar mediante una serie de efectos de evaporación con presiones consecutivas decrecientes. Los sistemas industriales de destilación multiefecto incluyen hasta 12 efectos de evaporación, donde la evaporación en el primer efecto es accionado por vapor de calor extraído de las calderas de cogeneración.

El vapor formado en el primer efecto se utiliza para conducir la evaporación en el segundo efecto. Este proceso continúa en los subsiguientes efectos hasta que la temperatura del vapor desciende a aproximadamente 30 a 40 °C. La mayoría de los sistemas de MED industriales están diseñados para funcionar de dos formas de manera independiente, es decir, se utiliza el vapor de calentamiento de la caldera, o vapor de compresión térmico, en donde parte del vapor formado en el último efecto se comprime a la temperatura deseada y se utiliza para conducir la evaporación en el primer efecto. La figura 2.3.3 muestra un esquema de un sistema de destilación multiefecto.

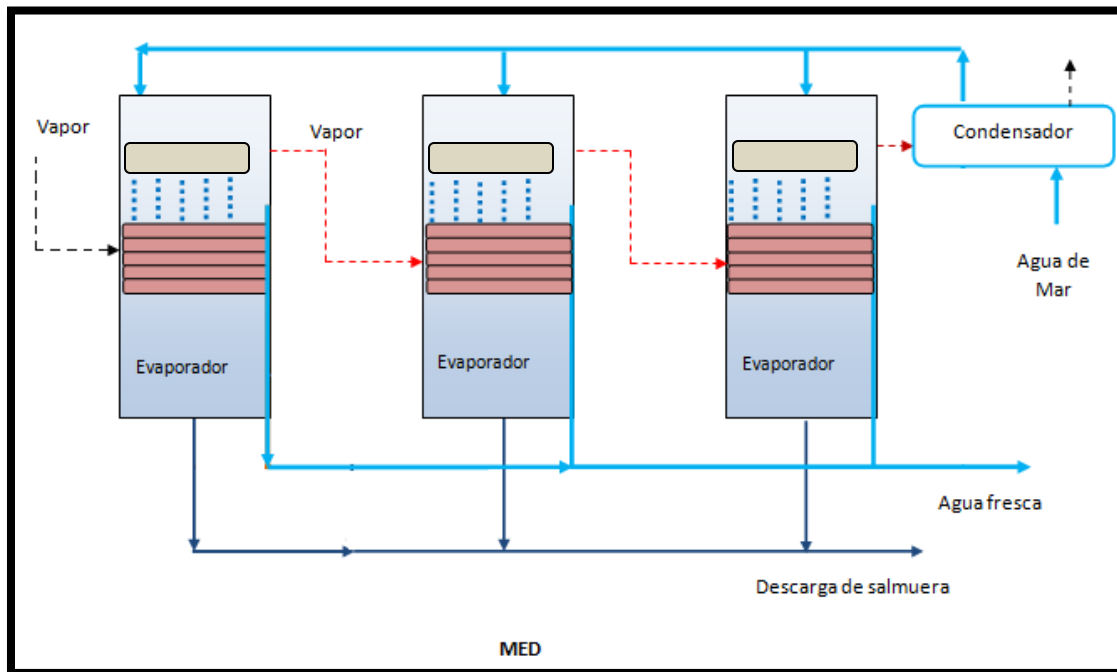


Figura 2.3.3. Esquema de la destilación multiefecto. Fuente: Agencia para el Desarrollo de los Estados Unidos.

Al ser menor la temperatura de trabajo permite reducir el costo de inversión al posibilitar trabajar con materiales de inferiores prestaciones técnicas y de menor costo. Debido a que el agua hierve a temperaturas más bajas conforme la presión disminuye, el vapor de agua generado en el primer efecto sirve como medio de calentamiento para el segundo efecto, y así sucesivamente.

2.3.4 COMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR (CMV)

El esquema para un proceso de CMV se muestra en la figura 2.3.4. El sistema contiene un evaporador de tubo horizontal, boquillas de rocío, un compresor de vapor, una bomba de recirculación y precalentadores de placas. El vapor comprimido fluye dentro de los tubos y la salmuera se rocía sobre la superficie exterior de los tubos. Para limitar la formación de incrustaciones en la superficie exterior de los tubos, la saturación máxima del vapor comprimido es 70 °C., el conjunto de tubos está dividido en dos grupos a ambos lados que se coloca en el centro del evaporador. Está conectado directamente a la entrada del compresor, donde el vapor formado se comprime y sobrecalienta a la temperatura deseada. El agua de alimentación que entra en el sistema se precalienta en dos intercambiadores de placas utilizando el destilado condensado y la salmuera de rechazo. La acumulación de gases no condensables dentro del evaporador está controlada por el uso de un eyector de chorro. Las unidades de bombeo utilizadas en el sistema incluyen bombas para la alimentación, destilado, salmuera de rechazo y recirculación de salmuera.

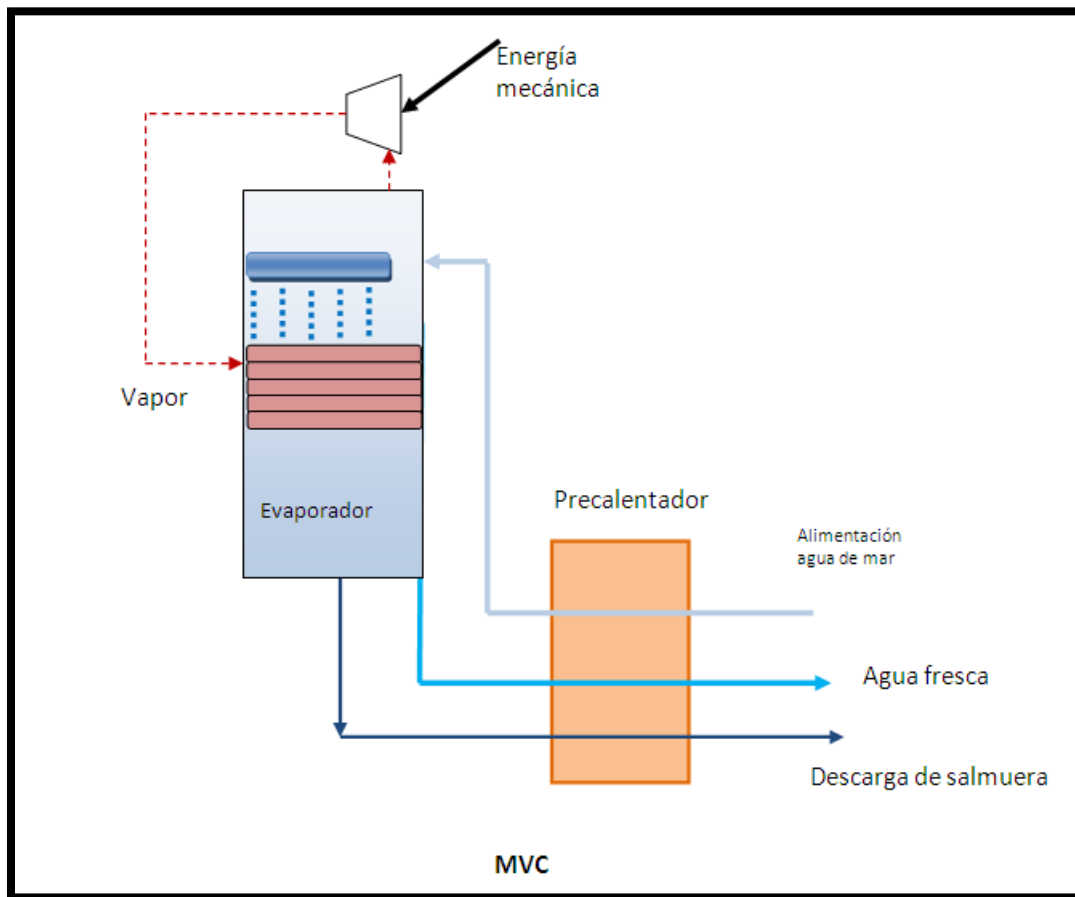


Figura 2.3.4.- Efecto simple de compresión mecánica de vapor (Ettouney, 2011)

2.3.5 DESTILACIÓN SOLAR

El proceso es similar a una parte del ciclo hidrológico natural, en el que se calienta el agua de mar por los rayos del sol para producir vapor de agua. El agua vapor se condensa sobre una superficie fría, y el condensado es recogido como agua producto (figura 2.3.5). Hay mucho por hacer en la 0destilación solar para aumentar la eficiencia, por ejemplo, 25 hectáreas de superficie para 1000 m3 de agua/día producida, alto costo de capital y la vulnerabilidad a los daños relacionados con el clima (Buros, 2010). Aunque la energía térmica puede ser gratuita, la energía adicional es necesaria para bombear el agua hacia y desde la instalación (Khawaji et al., 2011).

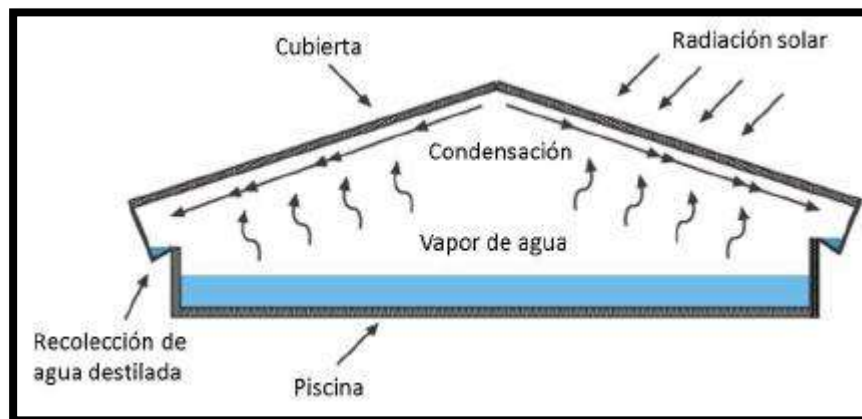


Figura 2.3.5.- Componentes básicos de la destilación solar

2.3.6 PROCESOS DE MEMBRANA

Las operaciones de membrana, con sus características intrínsecas de eficiencia y simplicidad operativa, alta selectividad y permeabilidad para el transporte de componentes específicos, bajos requisitos de energía, buena estabilidad bajo condiciones de operación, fácil control y ampliación y una gran flexibilidad, ofrece una respuesta interesante para la racionalización de los procesos de desalación (Drioli, 2008). Una membrana sintética se puede considerar como una interface que restringe el transporte de componentes de una manera específica. En la mayoría de los casos, la membrana muestra una selectividad intrínseca debido a sus características físico-químicas, tales como tamaño de poro, carga de su superficie, etc. (Cipollina et al., 2010). La separación es el resultado de diferencias en la velocidad de transporte de diversas especies a través de la membrana. La velocidad de transporte está determinada principalmente por la naturaleza de

fuerzas que actúan sobre cada componente individual (generalmente llamada "fuerza motriz"), y por su movilidad a través de la membrana (Cipollina, 2010).

2.3.7 ÓSMOSIS INVERSA (OI)

La ósmosis se define como el transporte espontáneo de un disolvente desde una disolución diluida a una disolución concentrada a través de una membrana semipermeable (Fernández, 2010). Se denomina semipermeable a aquella membrana que deja pasar libremente al solvente y retiene las moléculas disueltas (Bachmann, 2000). El flujo de disolvente puede reducirse si se aplica una presión en el lado de la membrana. Para una cierta presión llamada osmótica, se alcanza el equilibrio y la cantidad de disolvente que pasa en ambas direcciones es la misma (Walter, 2008).

El agua de mar se encierra en una cámara limitada por una membrana semipermeable y se somete a una presión mayor que la osmótica como se muestra en la figura 2.3.7 Las membranas se reúnen en elementos denominados módulos y el sistema de aplicación más sencillo consiste en poner en serie una bomba de alta presión y un módulo; el agua pura atraviesa la membrana bajo el efecto de la presión, mientras que un efluente concentrado (rechazo) se evacua en continuo por medio de una válvula de expansión (Vian, 2006).

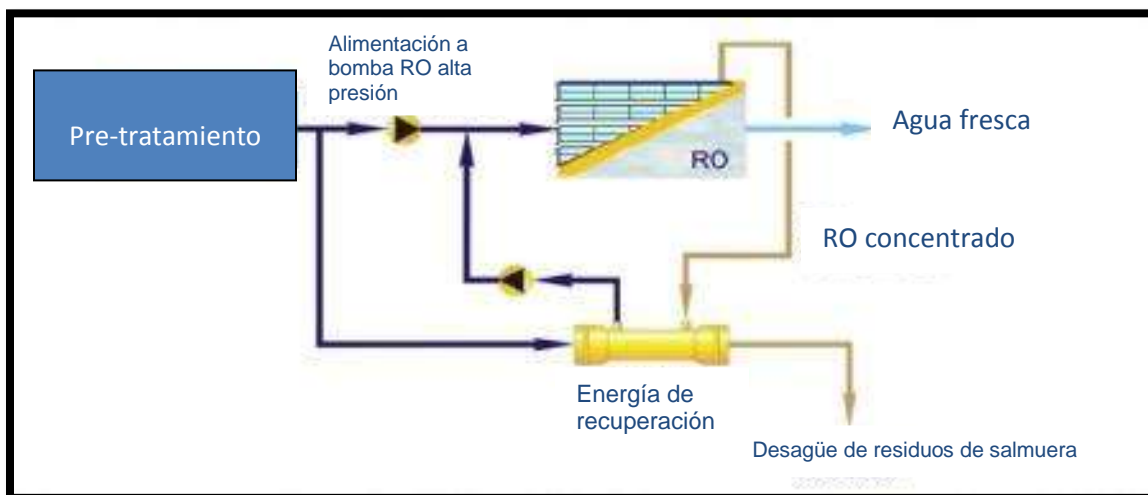


Figura 2.3.7. Sistema básico del proceso de ósmosis inversa (tomado de Lenntech)

Además del sistema de bombeo a alta presión y las membranas, una planta de ósmosis inversa está constituida por una etapa de captación y bombeo del agua

de mar a la planta de desalación, pretratamientos del agua, sistema de recuperación de energía de la salmuera que sale de las membranas, sistema de vertido de salmuera, tratamiento del agua producto desalada y almacenamiento.

2.3.8 ELECTRODIÁLISIS (ED)

La electrodiálisis es un proceso electroquímico para la separación de iones a través de membranas selectivas a partir de una solución a otra bajo la influencia de una diferencia de potencial eléctrico utilizado como una fuerza electromotriz (Mohammadi, 2010). Este proceso ha sido ampliamente utilizado para la producción de agua potable a partir de agua salobre y agua de mar, el tratamiento de efluentes de la industria, la recuperación de materiales útiles a partir de efluentes contaminados y la producción de sal (Winston et al; 2010). En una celda de electrodiálisis, una serie de membranas aniónicas y catiónicas están dispuestas en un patrón alterno para formar células individuales. Cuando un potencial es aplicado entre los dos electrodos, los cationes con carga positiva se mueven hacia el cátodo, pasan a través de la membrana de aniónica cargada negativamente y son retenidos por la membrana catiónica. Por otro lado, los aniones se mueven hacia el ánodo, pasan a través de la membrana catiónica y son retenidos por la membrana aniónica. Al final, aumenta la concentración de iones en compartimentos alternos con una disminución simultánea de la concentración de iones en otros compartimentos. El esquema de una celda de electrodiálisis se presenta en la figura 2.3.8.

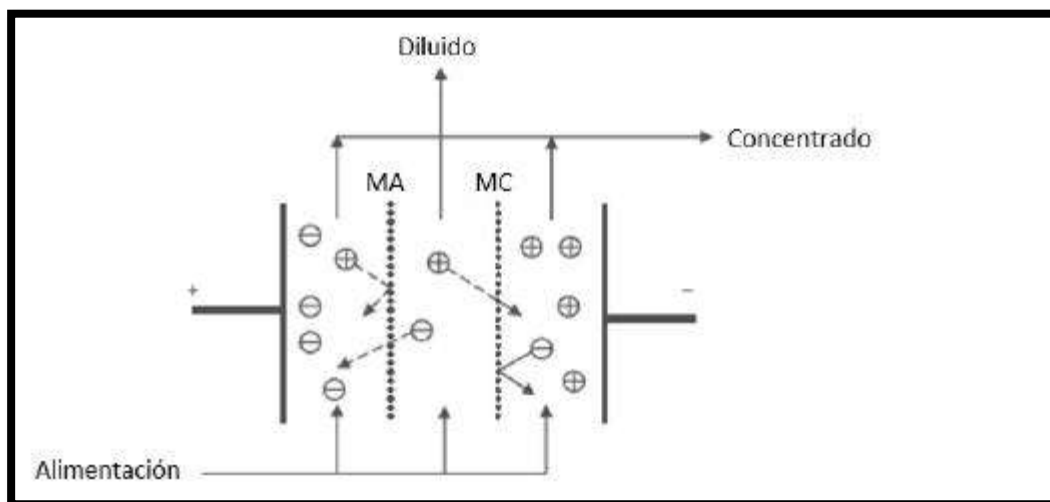


Figura 2.3.8.- Vista esquemática de una celda Electrodiálisis

2.3.9 TECNOLOGÍAS EMERGENTES

Las tecnologías emergentes son definidas como innovaciones científicas que pueden crear una nueva industria o transformar una existente. Incluyen tecnologías discontinuas derivadas de innovaciones radicales, así como tecnologías más evolucionadas formadas a raíz de la convergencia de ramas de investigación antes separadas (Day y Schoemaker, 2011). Cada una de estas tecnologías ofrece una gama de oportunidades de mercado que proporcionan el incentivo para realizar inversiones de riesgo. Por lo tanto, es el producto que se obtiene al renovar la tecnología que ya antes se ha desarrollado con el fin de obtener mayores beneficios.

2.3.10 ÓSMOSIS FORZADA

La ósmosis forzada es un proceso de separación de membrana basado, en una membrana semipermeable para eliminar la sal. Sin embargo, la fuerza impulsora para la separación es la presión osmótica. Mediante el uso de una solución concentrada de alta presión osmótica llamada la solución de extracción, el agua salina es inducida a fluir a través la membrana, rechazando la sal. La solución ahora diluida debe ser concentrada de nuevo, produciendo agua potable y reciclando soluto de arrastre.

2.3.11 SOLUCIONES DE EXTRACCIÓN

Un soluto de arrastre para el uso en un proceso continuo de desalinización por ósmosis forzada, en el que el soluto se recupera, debe tener ciertas características para hacer el proceso económicamente viable. Para este proceso el soluto debe tener una alta solubilidad, un bajo peso molecular, un mecanismo de fácil extracción y una baja toxicidad. La alta solubilidad y el bajo peso molecular permiten la generación de presiones osmóticas grandes que dan lugar a altos flujos de agua producida y su recuperación. La eliminación es crítica para la viabilidad económica del proceso de ósmosis forzada ya que la mayor parte de la energía utilizada en el proceso se utiliza para la recuperación del soluto de extracción.

Otros solutos de arrastre son aquellos que pueden ser química o térmicamente precipitados de la disolución para su eliminación. Se ha propuesto el uso de gases disueltos que pueden ser eliminados por medios térmicos, solutos de mayor peso

molecular que se pueden separar por medios físicos. El soluto se concentra y se recicla en un circuito cerrado. Las soluciones incluyen compuestos con grandes cambios en la solubilidad en función de la composición temperatura, el pH o la solución, o posiblemente compuestos con alta presión de vapor. Otras consideraciones incluyen la corrosividad, toxicidad, reactividad y la facilidad de separación del soluto de extracción.

Una solución de extracción utilizada es un compuesto de sales de amonio. Estas sales (una mezcla de bicarbonato de amonio, carbonato de amonio y carbamato de amonio) se forman cuando el amoníaco y los gases de dióxido de carbono se mezclan en una solución acuosa. (McCutcheon et al., 2012). Las sales son rechazadas por la membrana semipermeable utilizada y son muy solubles. Una vez que la solución de extracción concentrada se utiliza para efectuar la separación del agua de la fuente de alimentación de solución salina, la solución de extracción diluida es tratada térmicamente para eliminar sus sales de amonio, la producción de agua dulce es el principal producto del proceso de FO. Esta separación térmica de solutos de arrastre se basa en la característica útil de estas sales al descomponerse en amoníaco y gases de dióxido de carbono cuando la solución se calienta. La temperatura a la que este se produce depende de la presión de la solución. Si se utiliza una columna de destilación de vacío para esta separación, la temperatura de calor requerida será en el intervalo de 35 a 40 °C (95 -104 ° F) dada una temperatura ambiente de 15 a 20 ° C (59 - 68 ° F).

Para producir agua potable, la solución diluida de extracción se envía a una unidad de separación, que comprende una columna de destilación o una unidad de gas de separación de membrana. Elimelec et al (2010) han propuesto y parcialmente probado un proceso utilizando carbonato de amonio (NH_4CO_3) como una solución de extracción. Cuando se calienta moderadamente, el carbonato de amonio se descompone en amoníaco y gases de bióxido de carbono, dejando el agua pura. Para recuperar el agua potable pura, es necesaria una etapa de separación adicional para reciclar el soluto de extracción. Para la recuperación de agua potable, el soluto extractor debe ser eliminado casi por completo de la solución de extracción (Raha et al, 2010).

2.3.12 MEMBRANAS BIOMIMÉTICAS

Las membranas biomiméticas permiten el transporte activo y específico de las pequeñas moléculas hidrófilas en contra de su gradiente de concentración, a temperatura y presión constantes. Una membrana biomimética es una membrana permeable, por lo general orgánica, cargada positiva o negativamente. Esta

membrana, que separa un compartimiento donador de un compartimiento receptor, lleva en la superficie adyacente al compartimiento donador una enzima inmovilizada y en la otra superficie otra enzima inmovilizada. Éstas constituyen un par de enzimas que catalizan inversamente dos reacciones opuestas y son activas en la capa de difusión adyacente a la superficie de la membrana (Maisterrena, 2010).

Las membranas con poros o canales específicamente diseñados para maximizar el transporte de agua o selectividad de iones ofrecen el potencial para el funcionamiento más eficiente en comparación con membranas de polímero convencionales. Algunos de estos conceptos se basan en la función de las membranas biológicas. Las paredes celulares de la mayoría de los organismos contienen canales especializados de proteínas que transportan agua o iones selectivamente a través de la membrana celular (Hinds et al., 2008).

La función de estos canales de agua (acuaporinas) o “canales iónicos” apenas comienza a entenderse, por lo que se intenta fabricar canales análogos sintéticos. En el caso de las acuaporinas, el agua se transporta en un canal hidrofóbico de unos pocos angstroms de diámetro, mientras que las interacciones de enlace de hidrógeno con los grupos funcionales en las paredes del canal orientan las moléculas como se muestra en la figura 2.3.9 Esto permite el transporte activo y específico de las pequeñas moléculas hidrófilas en contra de su gradiente de concentración, a temperatura y presión constantes, en sólo una forma dentro del poro. Los iones son excluidos debido al gran incremento en la energía libre asociado con un canal de penetración debido a la pérdida de su campo de hidratación y la disminución de la entropía. Se ha medido un coeficiente de transporte de agua de $10^{-16} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ bar}^{-1}$ por los poros para canales de acuaporina naturales.

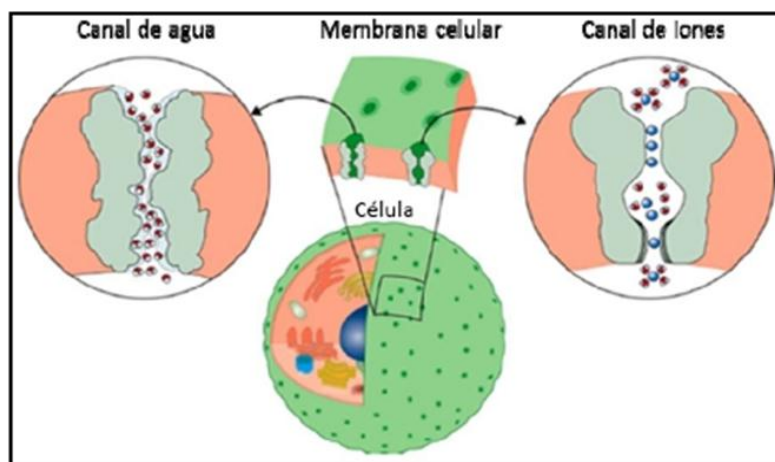


Figura 2.3.9.- Canal de agua de una acuaporina natural (Gibaud et al.,2008).

2.3.13 NANOTUBOS DE CARBONO (NTC)

Los nanotubos de carbono, un miembro de la familia de carbono, son relativamente nuevos adsorbentes que han demostrado poseer un gran potencial para la eliminación de muchos tipos de contaminantes como las dioxinas, el amoníaco, el ozono y el metano del aire. Los nanotubos de carbono también han sido utilizados como adsorbentes para eliminar los iones metálicos, el fluoruro, 1, 2-diclorobenceno, los trihalometanos y los contaminantes orgánicos en agua (Pankratz, 2010).

Los arreglos hexagonales de átomos de carbono en las hojas de grafito de nanotubos de carbono tienen una fuerte interacción con otras moléculas o átomos (Mohammadi, 2010). Esto es debido principalmente a su tamaño extremadamente pequeño, la distribución uniforme de poros y su gran superficie específica como se muestra en la figura 2.3.10. La capacidad de adsorción del ion metálico de los nanotubos de carbono se relaciona directamente con su acidez superficial total, incluyendo grupos funcionales. Diferentes grupos de ácidos funcionales tales como carboxilos, lactonas y fenoles pueden formarse en la superficie del NTC después de los procesos de oxidación. Los protones de los grupos funcionales de los NTC oxidados son intercambiados con los iones metálicos (Mohammadi, 2011).

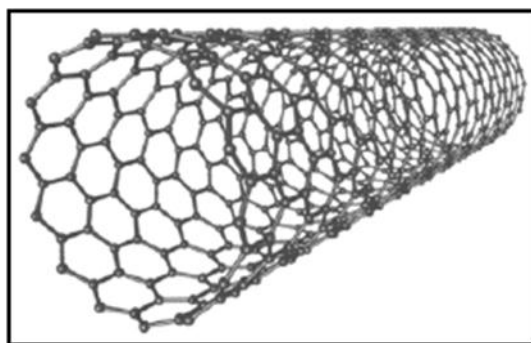


Figura 2.3.10.- Representación esquemática de un nanotubo de carbono (Mohammadi, 2010).

CAPITULO 3 METODOLOGIA

3.1 ELABORACION DEL COLECTOR SOLAR

Como ya se mencionó anteriormente uno de los objetivos de la presente tesis es la reducción del impacto ambiental que se tiene en la actualidad. Nuestro calentador solar plano fue construido en su mayoría con materiales económicos, con las características requeridas para su correcto funcionamiento. Pero lo más importante es el uso de materiales de reusó.

Partes del Colector Solar:

- Cubierta exterior, bastidor, o caja.
- Aislante
- Placa de absorción
- Radiador de tubos
- Pintura absorbente
- Cubierta de vidrio
- Selladores

3.1.1 CUBIERTA EXTERIOR

Debido a los objetivos planteados en la presente, la base para el diseño del colector solar fue una caja de metálica de lámparas luminosas con 1.20 m de largo, 0.60 m de ancho y 0.10 m de alto. La cual se lavó, se limpió y se pintó. La pintura utilizada fue base aceite y blanca, lo anterior para protegerla de la corrosión y de la intemperie (ver figura 3.1.1).



Figura 3.1.1.- Cubierta Exterior.

3.1.2 AISLANTE

La caja de aislante fue construido con aglomerado de aserrín debido a que es una buen aislante y económico, se realizaron los cortes (1.19 m de largo, 0.59 m de ancho, 0.09 m de alto) a partir de las medidas de la caja exterior además que las juntas se reforzaron con silicón y tornillos (ver figura 3.1.2).



Figura 3.1.2.- Aislante térmico

3.1.3 PLACA DE ABSORCIÓN

La placa de absorción fue hecha de latas de aluminio recicladas, las cuales se les recorto cilíndricamente despajándolas de su base inferior y superior, para posteriormente unir las dentro de la caja aislante y formar una placa uniforme de aluminio (ver figura 3.1.3).



Figura 3.1.3.- Placa absorción

3.1.4 RADIADOR DE TUBOS

Se construyó el radiador con tubería de CPVC (El Policloruro de vinilo clorado es un termoplástico producido por cloración de la resina de policloruro de vinilo (PVC). Los usos incluyen tuberías de agua fría y caliente, y el manejo de líquidos industriales.). Se cortaron tramos de tubería a 0.5 m de largo, posteriormente fueron unidos con pegamento especial a conexiones T. La estructura del radiador fue en acomodo paralelo ya que existe mayor área de transferencia que en un arreglo en serie (ver figura 3.1.4).

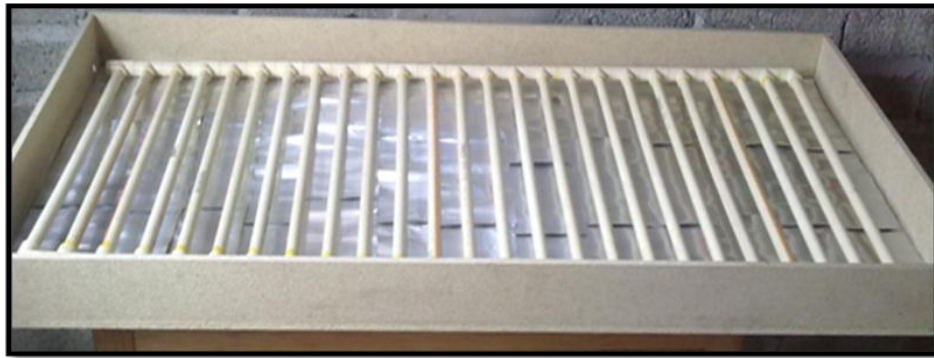


Figura 3.1.4.- Radiador de tubos.

3.1.5 PINTURA ABSORBENTE

La pintura absorbente que se utilizó es pintura negra con acabado mate (sin brillo para evitar la reflexión de los rayos del sol y de esta manera absorber mayor energía), cuyas características resiste la exposición a altas temperaturas (temperatura máxima 648 grados Celsius). Se colocaron dos capas de pintura una fue sobre la placa de aluminio y la otra sobre la instalación del radiador en la placa de aluminio (ver figura 3.1.5).



Figura 3.1.5.- Pintura absorbente

Posteriormente ya que se tenían las partes internas listas del colector se procedió a colocarlas firmemente con tornillos de $\frac{3}{4}$, tuercas, rondanas de presión, abrazaderas de $\frac{1}{2}$ y selladores para reforzar las juntas.

3.1.6 CUBIERTA DE VIDRIO, JUNTAS Y SELLADORES

Se instaló una cubierta de vidrio con de 6 mm de espesor, ya que se tenía en su mayoría el armado interno del colector, la cual fue colocada con sellador negro de alta temperatura y coloco un marco de aluminio blanco alrededor. Posteriormente se colocaron los accesorios finales, dos válvulas tipo bola una a la entrada y otra a la salida, una purga en la salida y dos conexiones contratuerca para la llegada y salida del agua (ver figura 3.1.6).



Figura 3.1.6.- Colector Solar terminado

Colector solar listo para probarse y experimentar.

3.2 PRECIPITACIÓN QUÍMICA

Se inició con la recolección de muestras agua de mar del océano pacífico en particular de la costa de Mazatlán, Sinaloa. Las cuales se caracterizaron y trabajaron para la experimentación.

La metodología se divide en tres etapas:

1. Precipitación química (cristalización de la sal).
2. Extracción de sal.
3. Recuperación de solvente y obtención de agua fresca.



Figura 3.2.1.- Preparación de muestras.

Se prepararon soluciones de agua de mar y acetona en matraces erlenmeyer a distintas concentraciones en peso, se etiquetaron, enumeraron, taparon y se les realizó una agitación previa con equipo vortex. Posteriormente fueron introducidas a baño maría con agitación y temperatura constante de 25 grados centígrados.

Los matraces fueron retirados del baño maría, algunas soluciones presentaban formación de cristales (arriba de 40% de acetona). Posteriormente fueron introducidas a baño maría con agitación y temperatura constante de 25 grados centígrados por un periodo de treinta minutos (ver figura 3.2.1).



Figura 3.2.2.- Equipo baño María con agitación.

Pasados los treinta minutos los matraces fueron retirados del baño maría, las soluciones presentaban la precipitación química y la formación de los cristales de cloruro de sodio a partir de una concentración mayor al 40% de acetona. Por debajo de esta concentración no existía la formación de cristales (ver figura 3.2.2 y 3.2.3).

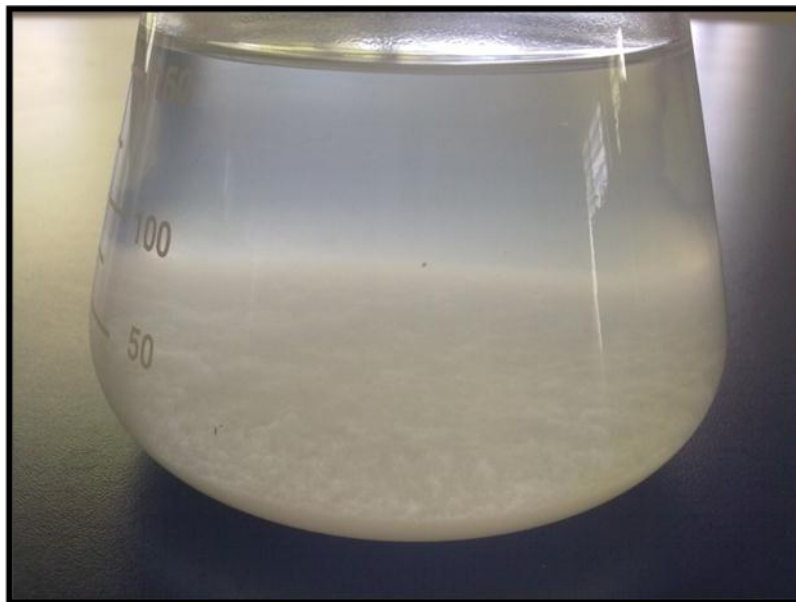


Figura 3.2.3.- Formación y precipitación de Cristales de NaCL.

3.3 EXTRACION DE LA SAL PRECIPITADA

Para la extracción de la sal se utilizó un equipo de ultrafiltración a vacío con membrana microporo. Las soluciones en los matraz seleccionados fueron vertidas al depósito del equipo de una en una para su extracción.

Para la extracción de la sal se utilizó un equipo de ultrafiltración a vacío de membrana, la cual posee un diámetro de poro de 0.02 micras (ver figura 3.3.1).



Figura 3.3.1.- Equipo de ultrafiltración y bomba de vacío.

Se seleccionaron las muestras que contenían una concentración por arriba del 40% en peso de acetona (las muestra de los cristales precipitados), para extraer la sal a través del equipo de ultrafiltración. Las soluciones en los matraz seleccionados fueron vertidas al depósito del equipo de una en una para su extracción.

Se preparó el equipo con su respectiva membrana y su conexión a la bomba para producir el vacío de acuerdo al manual de operación. El equipo se ponía en marcha cuidando de no tener un vacío por debajo de los -20 inHg. Posteriormente se realizó la extracción de sal en cada una de las soluciones. Finalmente se obtuvo un filtrado el cual se analizó.

Ya que la operación unitaria de filtración separa, la sal de la solución quedaba en la superficie de la membrana.



Figura 3.3.2.- Membranas con filtrado.

Se retiró la membrana con la sal (se colocaba una membrana nueva para la siguiente solución), y el filtrado era recolectado para su posterior experimentación. Dicho filtrado ahora contenía agua y acetona (ver figura 3.3.2 y 3.3.3).



Figura 3.3.3.- Membrana con la sal extraída de la solución a una concentración de 75% acetona

3.4 RECUPERACIÓN DE SOLVENTE Y OBTENCIÓN DE AGUA FRESCA

Para poder separar una mezcla de compuestos por destilación, es imprescindible que haya una diferencia considerable entre sus puntos de ebullición. Se va a separar la solución de acetona/agua mediante una destilación simple, con dos temperaturas de operación una a 63 °C y otra a 70 °C con el objetivo de apreciar sus compartimientos y así elegir la mejor.

Para la operación de destilación simple, se montó el aparato de destilación esquematizado en la figura utilizando un matraz de fondo redondo de 200 mL. Introduciendo en el matraz el filtrado. Se hace circular una corriente suave de agua fría en sentido ascendente a través del tubo refrigerador. El calentamiento del matraz bola fue llevado a cabo por el agua proveniente del colector solar.



Figura 3.4.1.- Equipo de destilación simple.

La destilación entro en funcionamiento para cada una de las muestras, cuando se alcanzó una temperatura constante de 62 grados Celsius. Esto con la finalidad de obtener la mayor cantidad de acetona pura ya que el punto de ebullición de la acetona es de 56 °C. Se recogió la primera gota de la fracción inicial de destilado, esta fracción es acetona prácticamente pura. Posteriormente cada 5 minutos se recogía una muestra. Lo mismo se realizo con la destilación a 70 °C.

Las muestras obtenidas de la destilación fueron llevadas a un equipo Karl Fisher (ver figuras 3.4.1 y 3.4.2) para determinar el contenido de agua en la muestra y por diferencia el contenido de acetona de acuerdo al procedimiento del manual del equipo.



Figura 3.4.2.- Equipo Karl Fisher.

La valoración de Karl Fischer es un clásico método usado en química analítica que utiliza una valoración coulombimétrica o volumétrica para determinar trazas de agua en una muestra. Fue inventada en 1935 por el químico alemán Karl Fischer. La valoración volumétrica se basa en los mismos principios que la valoración coulombimétrica, salvo que la solución del ánodo anterior ahora se utiliza como solución valorante. El valorante se compone igualmente de un alcohol (ROH), una base (B), SO_2 y de I_2 en concentración conocida. Se consume un mol de I_2 por cada mol de H_2O . La reacción de valoración procede como anteriormente, y el punto final puede establecerse visualmente por el color café dado por el exceso de reactivo, pero es más común que se determine por un método electroanalítico como el descrito anteriormente. El reactivo se valora periódicamente mediante la titulación de soluciones estándar de agua en metanol o bien un estándar de tartrato de sodio dihidratado.



Figura 3.4.3.- Recopilación de muestras obtenidas en viales para la determinación de agua.

El líquido resultante que no destilo de cada una de las muestras es el agua desalinizada, esta fue recolectada y analizada en un equipo multiparametrico, conductividad, TDS, pH, y el porcentaje de sal (ver figura 3.4.3 y 3.4.4).



Figura 3.4.4.- Multiparametrico Hanna Instrument

En el estudio del multiparametrico se introdujeron los electrodos en cada una las muestras por separado y de esta forma proporcionar las características del agua. En el caso del flamometro se introdujo 0.01 mL de cada muestra para la determinación de Na^+ (ver figura 3.3.5).

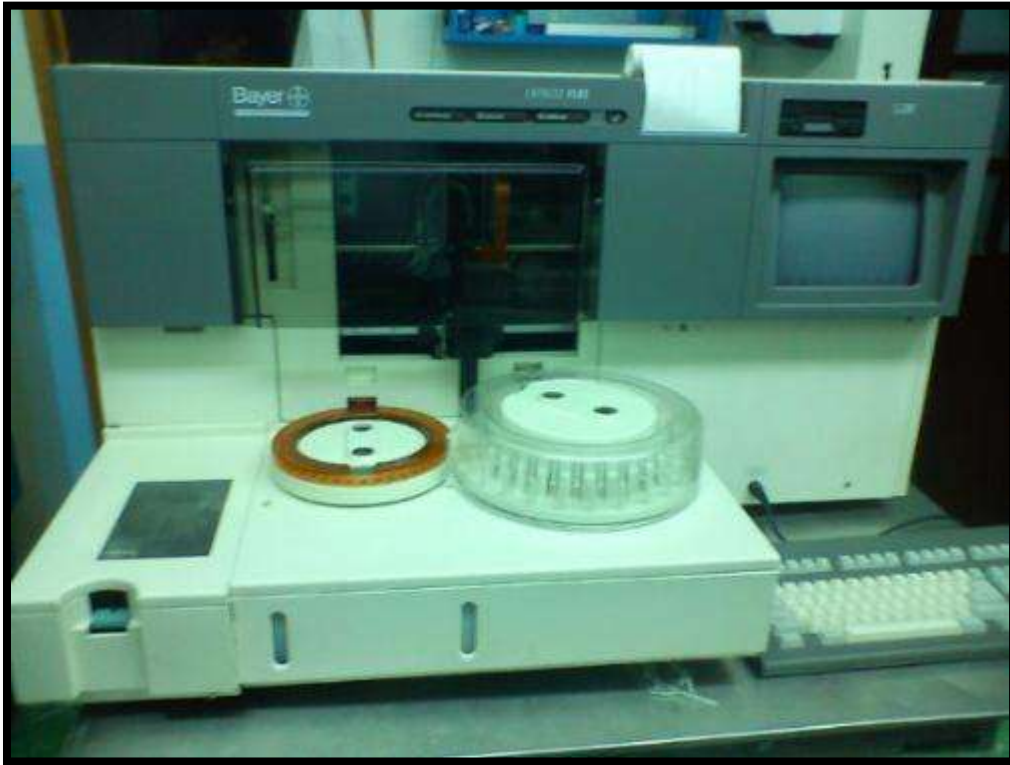


Figura 3.4.5.- Flamometro B L50

CAPITULO 4 RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 COLECTOR SOLAR PLANO

Los resultados arrojados con el colector en funcionamiento fueron bastante positivos, se cumplió el objetivo que era alcanzar una temperatura del agua a la salida mayor o igual a los 60 °C, obteniendo así una temperatura máxima de 82°C. Es importante señalar que las temperaturas obtenidas se encuentran claramente en función de las condiciones climatológicas, las épocas del año y la hora del día como se dijo anteriormente.

En la gráfica 4.1 se puede observar el incremento de la temperatura a medida en que la hora aumenta. Se aprecia un máximo a las 14:00 y posteriormente el decremento de la misma. Las pruebas se realizaron en los meses de abril y mayo donde las horas pico promedio mensual ascienden a 5.9 horas.

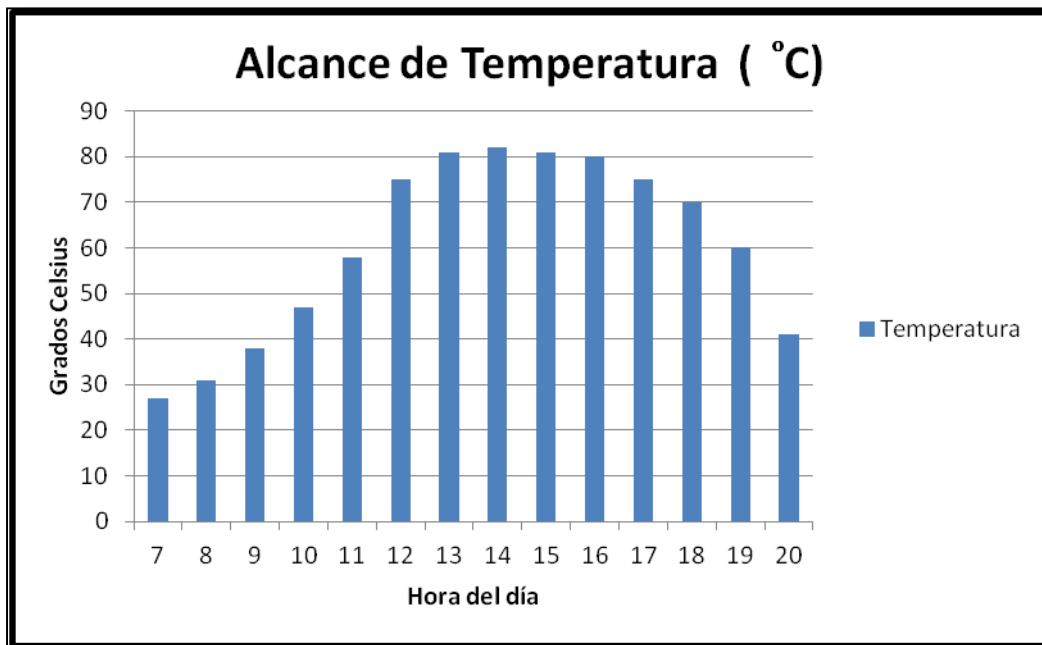


Figura 4.1.- Grafica Temperaturas de agua a la salida generadas por el Colector Solar.

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE MAR

Los resultados de la caracterización de nuestra agua de mar se encuentran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2.- Caracterización del agua de mar a emplear.

Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Contenido de Sal (%)	Densidad (gr/mL)
54172	3.5	1.024

4.3 AGUA DE MAR DESALINIZADA

En la siguiente tabla 4.3 observamos las características finales de las muestras, de acuerdo al tratamiento dado (contenido de acetona en la muestra).

Tabla 4.3.- Agua de mar desalinizada.

Acetona = ace,

Agua de mar = w

Conductividad eléctrica = C E

%Peso ace (gr)	%Peso w (gr)	Sal (gr) antes	C E ($\mu\text{S/cm}$) antes	Sal (gr) En solución tratada	Sal (gr) Precipitada	C E ($\mu\text{S/cm}$) después	% Sal retirada
95	5	0.17	2134	0.0185	0.152	231	89.18
90	10	0.34	4317	0.0386	0.303	488	88.70
83	17	0.58	7457	0.1050	0.476	1347	81.94
75	25	0.85	11170	0.1935	0.660	2530	77.35
66.7	33.3	1.14	15173	0.3565	0.781	4752	68.68
50	50	1.71	23726	0.7194	0.989	9987	57.91

En la gráfica se puede ver la comparación entre las soluciones con y sin sales en las muestras, se aprecia la importante disminución de la conductividad al extraer la sal precipitada, a medida que el porcentaje de acetona aumente la conductividad disminuye tendiendo a la formación de una asíntota.

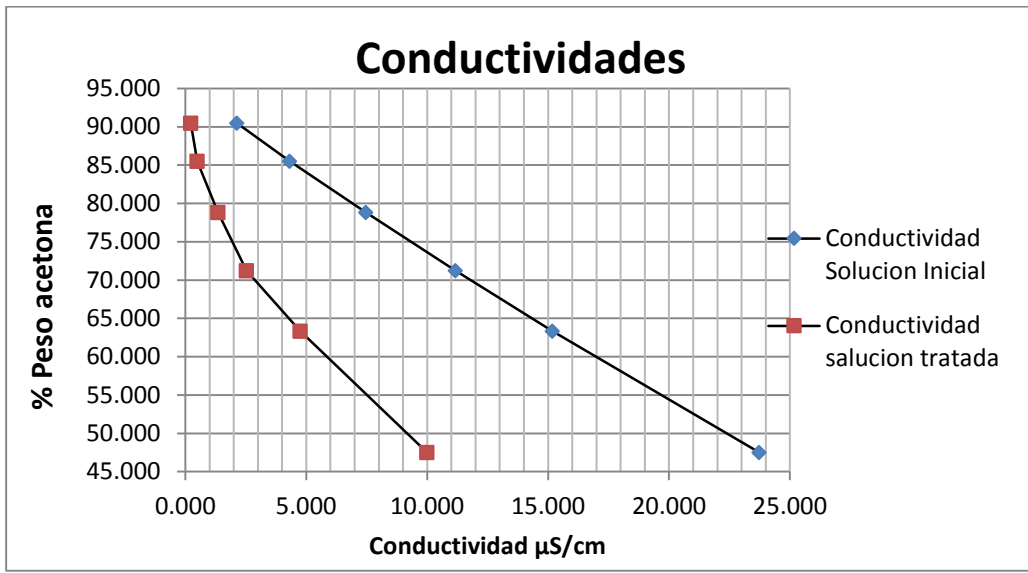


Figura 4.3.1.- Grafica %o total vs % acetona.

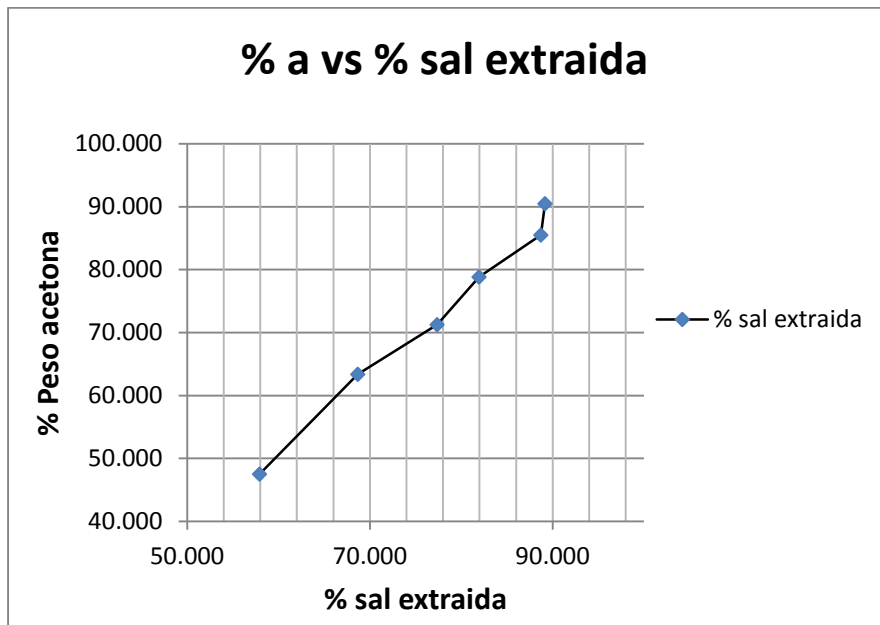


Figura 4.3.2.- Grafica % sal extraída vs % acetona.

En la gráfica se aprecia que después de 85.5 % de acetona en la solución la sales extraídas no cambia significativamente como en los anteriores, por lo tanto el podemos concluir que 85.5% de acetona es un buen valor en la precipitación de las sales.

4.4 RECUPERACIÓN DE SOLVENTE Y OBTENCIÓN DE AGUA DESALINIZADA

Los resultados de la recuperación de solvente mediante destilación se encuentran en la tabla 4.4.1, donde además se plasman los resultados de las valoraciones a través del Karl Fisher en función del tiempo en la obtención de la muestra,

Tabla 4.4.1- Resultados de la destilación a 62 °C.

Temperatura de trabajo (62 °C)						
Muestra	Tiempo (min)	Pesada (gr)	Consumo (ml)	(%) Vol. Gastado	% Agua	% Acetona
1	0	0.153	0.185	6.929	1.215	98.785
2	5	0.0124	0.142	6.496	1.321	98.679
3	10	0.0184	0.157	6.159	1.512	98.488
4	15	0.0201	0.123	6.452	1.421	98.579
5	20	0.0195	0.501	9.489	2.351	97.649
6	25	0.0242	0.493	7.486	2.452	97.548
7	30	0.0256	0.312	6.855	2.124	97.876
8	35	0.0144	0.215	7.154	2.214	97.786
9	40	0.0191	0.191	7.133	7.125	92.875
10	45	0.0213	0.354	8.856	9.321	90.679
11	50	0.0187	0.524	10.154	32.125	67.875
					PROM	93.61
12	70	0.0194	3.45	17.241	94.64	5.362

Tabla 4.4.2.- Porcentaje de recuperación destilación 62 °C (%)

Volumen inicial acetona (mL)	Volumen recuperado destilado (mL)	Prom acetona (%)	Volumen recuperado acetona (mL)	Porcentaje de recuperación acetona (%)
93.86	87.4	93.61	81.81	87.17

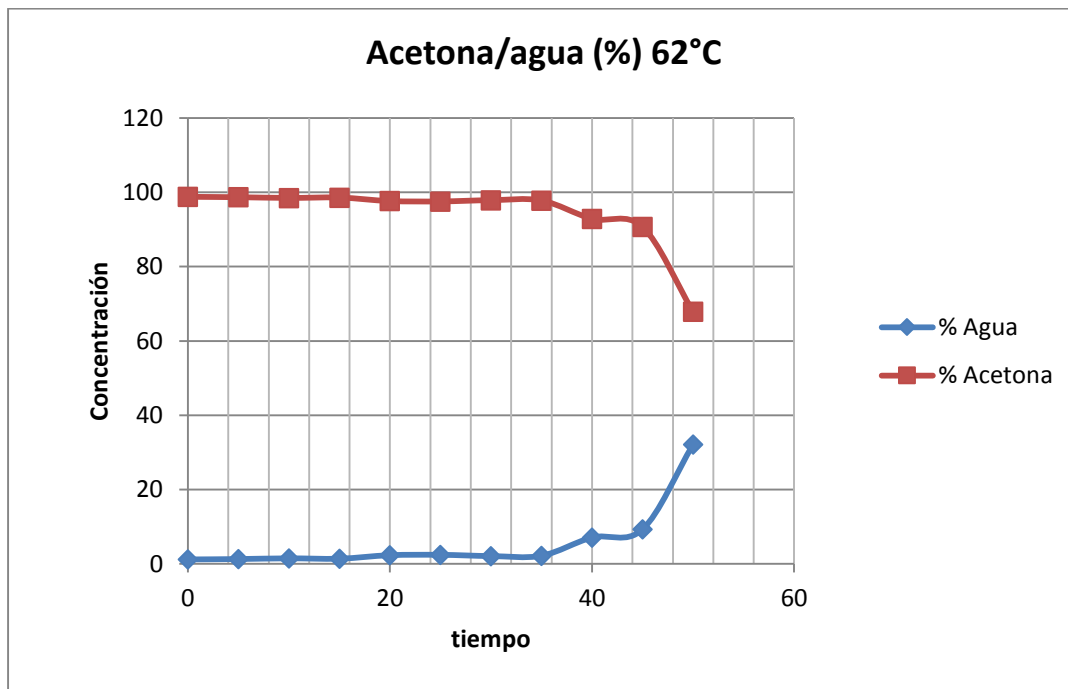


Figura 4.4.1.- Grafica concentración de acetona/agua vs tiempo 62°C

En la gráfica anterior 4.4.1 podemos ver el comportamiento de la concentración del solvente a través del tiempo. Al comienzo de la destilación se obtiene acetona con alta pureza, a medida que transcurre el tiempo esta pureza disminuye y aumenta el contenido de agua en el destilado.

Tabla 4.4.3.- Resultados de la destilación a 70 °C.

Temperatura de trabajo (70 °C)						
Muestra	Tiempo (min)	Pesada (gr)	Consumo (ml)	(%) Vol. Gastado	% Agua	% Acetona
1	0	0.182	0.155	6.456	0.641	99.359
2	5	0.0153	0.232	6.541	0.689	99.311
3	10	0.0177	0.377	7.212	1.182	98.818
4	15	0.0166	0.291	7.336	3.218	96.782
5	20	0.0301	0.368	8.251	7.351	92.649
6	25	0.0282	0.689	9.154	14.299	85.701
7	30	0.0165	0.689	12.451	38.516	61.484
					PROM	90.63
8	35	.0194	3.45	19.141	98.77	1.23

Tabla 4.4.4.- Porcentaje de recuperación destilación 70 °C(%)

Volumen inicial acetona (mL)	Volumen recuperado destilado (mL)	Prom acetona (%)	Volumen recuperado acetona (mL)	Porcentaje de recuperación acetona (%)
93.86	79.21	90.63	71.788	76.48

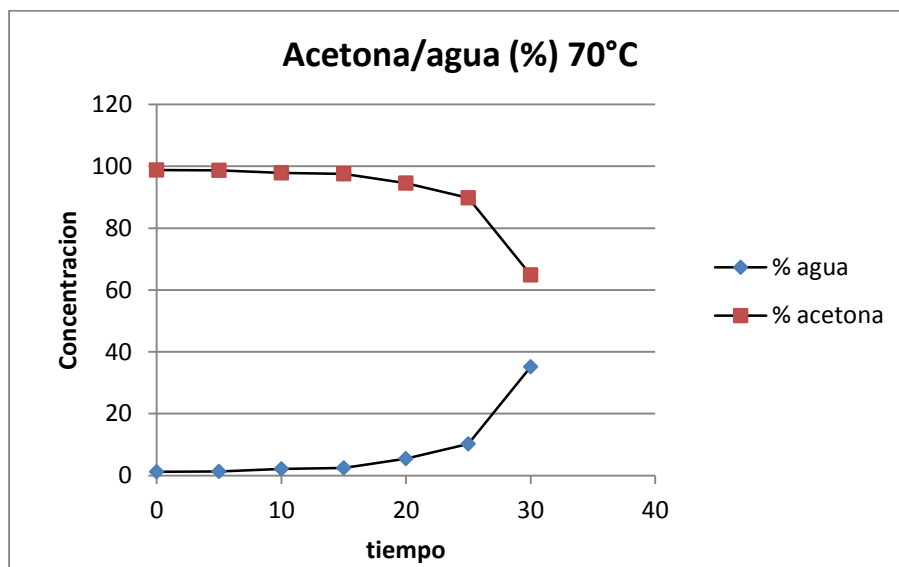


Figura 4.4.2.- Grafica concentración de acetona/agua vs tiempo 70°C.

A diferencia de la gráfica anterior observamos que en un menor tiempo separamos la acetona del agua pero perdiendo pureza del solvente a través del tiempo, además de tener un porcentaje de recuperación menor que con la destilación a 62°C.

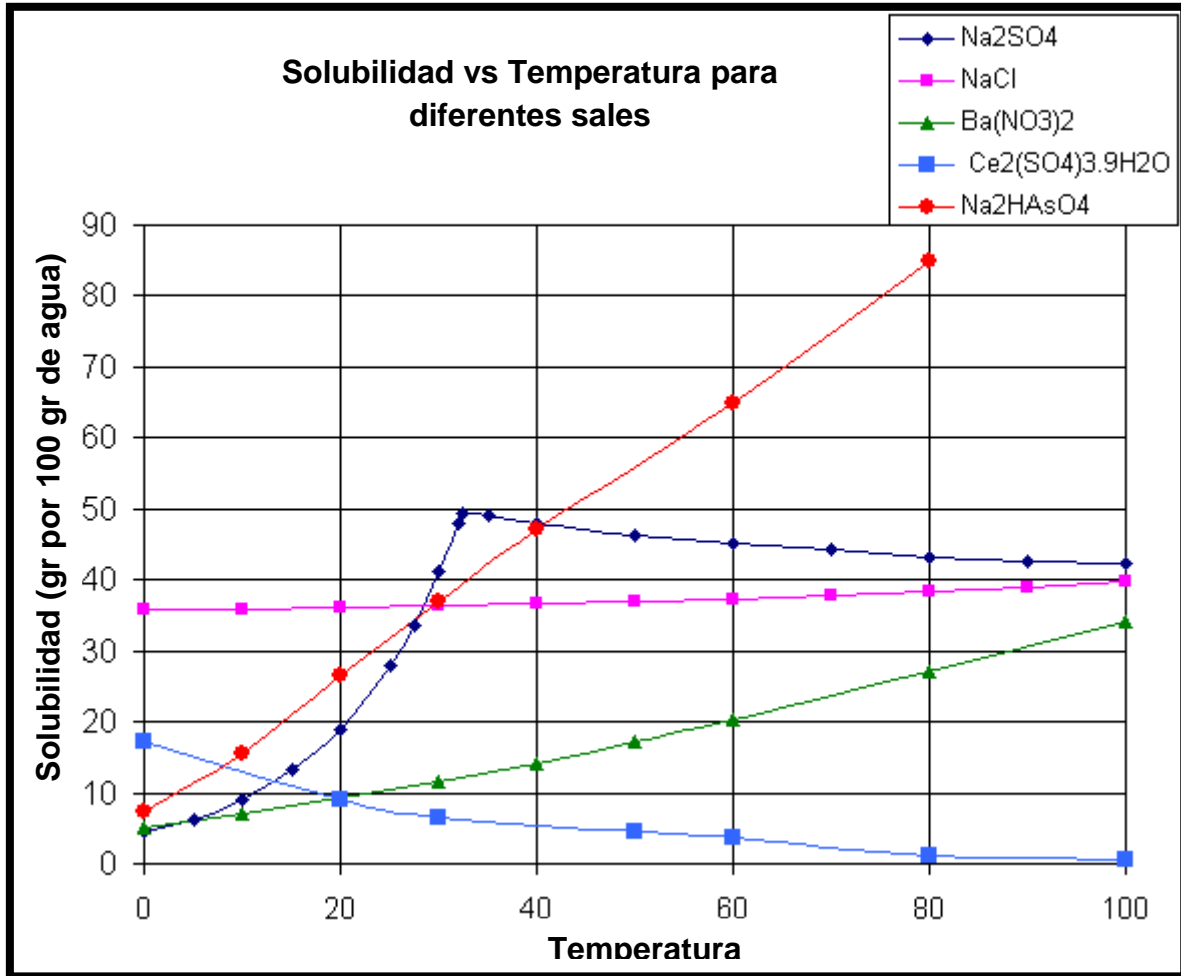


Figura 4.4.3.- Grafica Solubilidad vs Temperatura de sales.

La solubilidad de un soluto dado en un disolvente dado depende típicamente de la temperatura (ver grafica 4.4.2). Para muchos sólidos disueltos en el agua líquida, la solubilidad aumenta con la temperatura hasta 100 °C. En el agua líquida a altas temperaturas, (por ejemplo, que se aproxima la temperatura crítica), la solubilidad de los solutos iónicos tiende a disminuir debido a la cambio de las propiedades y la estructura del agua líquida, las bajas constantes dieléctricas se traduce en un menor disolvente polar. Los solutos gaseosos exhiben un comportamiento más complejo con la temperatura. A medida que se eleva la temperatura, los gases por lo general se hacen menos solubles en agua (al mínimo, lo que está por debajo de 120 °C para la mayoría de los gases permanentes), pero más soluble en disolventes orgánicos.

En la gráfico 4.4.2 muestra las curvas de solubilidad para algunos sólidos inorgánicos típicos como las sales (la temperatura es en grados centígrados). Muchas sales como nitrato de bario y arseniato de hidrógeno disódico, y muestran

un gran aumento de la solubilidad con la temperatura. En algunos solutos (por ejemplo, cloruro de sodio en agua) la solubilidad es bastante independiente de la temperatura, como (III) sulfato de cerio, se vuelven menos solubles en agua al aumentar la temperatura. Esta dependencia de la temperatura se refiere a veces como "retrógrado" o solubilidad "inversa". De vez en cuando, se observó un patrón más complejo, como con sulfato de sodio, donde el menos soluble decahidrato cristalino pierde agua de cristalización a 32 °C para formar un anhídrido. La solubilidad de compuestos orgánicos casi siempre aumenta con la temperatura.

CONCLUSIONES

Se cumple con el principal objetivo, desalinizar agua de mar a través con acetona como solvente y energía solar como medio de separación.

Se obtiene agua con conductividades por debajo de los 231 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a la cual se le extrajo 89.18% de su contenido de sal. Concentración inicial de 3.5 gr/Lt, concentración final de 0.378 gr/Lt.

La temperatura de trabajo elegida para la destilación es la de 62 °C, ya que el solvente recuperado es más puro, aunque esta es más lenta, la energía requerida para la operación es solar.

Se tiene una recuperación de acetona del 87.17% un porcentaje aceptable con la destilación simple que se utilizó.

En la figura 4.3.2 se aprecia que después de 85.5 % de acetona en la solución las sales extraídas no cambia significativamente como en los concentraciones, por lo tanto podemos concluir que 85.5% de acetona es la concentración máxima más óptima en la precipitación de las sales.

Si se modifica el aparato de destilación intercalando una columna de fraccionamiento entre el matraz y la cabeza de destilación y se repite todo el proceso anterior, la cantidad de acetona pura obtenida sería mucho mayor.

Se elige la acetona como solvente ya que la solubilidad del NaCl es solo de 0.00042 gramos por kilogramo de acetona, además de ser económicamente viable, bajo peso molecular, punto de ebullición bajo, mecanismo de fácil extracción.

Generación de colectores solares elaborados con materiales de reusó y económicos.

Uso de energías alternas limpias para contribuir de manera positiva al cambio climático.

Energía solar como fuente principal, con lo cual se reducen las emisiones de CO₂ y el uso de combustibles fósiles.

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

	PAG
TABLAS	
Tabla 1.- Solubilidad de NaCl en diversos solventes.....	13
Tabla 2.1.- Tipos de agua según la cantidad de sales contenidas.....	31
Tabla 2.1.2.- Tipo de agua según su uso.....	31
Tabla 2.3.-Componentes químicos del agua de mar.....	32
Tabla 2.4.- Propiedades termodinámicas agua de mar a 23 °C.....	33
Tabla 4.2.- Caracterización del agua de mar a emplear.....	61
Tabla 4.3.- Características de nuestra agua fresca resultante.....	61
Tabla 4.4.- Resultados de la destilación a través de Karl Fisher.....	63
FIGURAS	
Figura 1.- Contaminación atmosférica por la quema de combustibles fósiles.....	07
Figura 2.- El hombre y el planeta.....	09
Figura 3.- Diagrama Diseño Tesis.....	10
Figura 1.1 Cambio climático.....	14
Figura 1.3 Fuentes Naturales.....	17
Figura 1.4 Colector Solar plano.....	27
Figura 2.1.- Agua disponible en el planeta, (Clarke y King, 2011).....	29
Figura 2.1.2-Ciclo del Agua.....	30
Figura 2.3.- Clasificación de las tecnologías de desalinización por el tipo de proceso utilizado.....	34
Figura 2.4.- Tecnologías desalinizadoras instaladas en el mundo.....	35
Figura 2.3.2.- Desalación por destilación súbita.....	36
Figura 2.3.3. Esquema de la destilación multiefecto.....	37
Figura 2.3.4.- Efecto simple de compresión mecánica de vapor.....	38
Figura 2.3.5.- Componentes básicos de la destilación solar.....	39
Figura 2.3.7. Sistema básico del proceso de ósmosis inversa.....	40
Figura 2.3.8.- Vista esquemática de una celda Electrodiálisis.....	41
Figura 2.3.12.- Canal de agua de una acuaporina natural.....	48
Figura 2.3.13.- Representación esquemática nanotubo de carbono.....	45
Figura 3.1.1.- Cubierta Exterior.....	47
Figura 3.1.2.- Aislante térmico.....	48
Figura 3.1.3.- Placa absorción.....	48
Figura 3.1.4.- Radiador de tubos.....	49
Figura 3.1.5.- Pintura absorbente.....	50
Figura 3.1.6.- Colector Solar terminado.....	51
Figura 3.2.- Preparación de muestras.....	52
Figura 3.2.1.- Equipo baño María con agitación.....	52
Figura 3.2.2.- Formación y precipitación de Cristales de NaCl.....	53
	60

Figura 3.3.- Equipo de ultrafiltración y bomba de vacío.....	54
Figura 3.3.1.- Membranas con filtrado.....	55
Figura 3.3.2.- Membrana con la sal extraída de la solución a una concentración de 75% acetona.....	55
Figura 3.4.- Equipo de destilación simple.....	56
Figura 3.4.1.- Equipo Karl Fisher.....	57
Figura 3.4.2.- Recopilación de muestras obtenidas en viales para la determinación de agua.....	58
Figura 3.16.- Multiparametrico Hanna Instrumenst.....	58
Figura 3.3.5.- Flamometro B L50.....	59
Figura 4.1.- Grafica Temperaturas de agua a la salida generadas por el Colector Solar.....	60
Figura 4.3.1.- Grafica %o Total vs % Acetona.....	62
Figura 4.3.2.- Grafica Sal recuperada vs Acetona.....	62
Figura 4.3.3.- Grafica de Conductividad vs Acetona.....	63
Figura 4.4.1.- Grafica concentración de acetona/agua vs tiempo.....	64
Figura 4.4.2.- Grafica Solubilidad vs Temperatura de sales.....	65

BIBLIOGRAFIA

Andrea Cipollina; Giorgio Micale; Lucio Rizzuti; eds. 2009, Seawater Desalination sexta edición. New York, USA, Ed. Springer.

BIRD R. B.; STEWART W.E.; eds. 2006. Fenómenos de transporte. Segunda edición. México D.F, ed. Limusa Wiley.

McCabe L. W.; Smith C. J; Harriott P.; eds. 1991, Operaciones unitarias en Ingeniería Química. Cuarta edición. Madrid, España, ed. McGraw-Hill.

Morrison R.T.; Boyd R.N.; eds. 1998. Química Orgánica. Quinta edición. México, Naucalpan de Juárez, ed. Pearson.

Carey F. A.; ed. 2006. Química Orgánica. Sexta edición. México D.F. Ed. McGraw-Hill.

Henry G.J.; Heinke G.W.; eds. 1999. Ingeniería Ambiental. Segunda edición. México, ed. Prentice Hall.

Ramos C. P.; eds. 2002. Avances en calidad ambiental. Primera edición. España, ed. Universidad de Salamanca.

Jaén G. A.; Carreras P.R.; Eds. 2006 Volumen 1. Tecnología energética y medio ambiente. Primera edición. Barcelona, ed. De la Universidad Politécnica de Catalunya, SL.

http://www.energetica.org.bo/elsol/paginas/sistema_termosolar.asp

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

http://www.geofisica.unam.mx/observatorios/radiacion_sol

http://www.unitek.com.ar/productos-microfiltracion.php?id_lib_tecnica=2

Li C.; Goswami Y.; Stefanakos E.; Solar asited sea water desalination. El Selvier 2012