

Instituto Tecnológico de Sonora
P r e s e n t e.

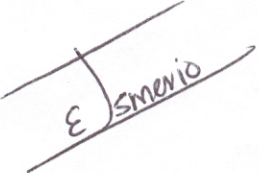
El que suscribe **Luis Carlos Duarte Higuera**, por medio del presente manifiesto bajo protesta de decir verdad, que soy autor y titular de los derechos de propiedad intelectual tanto morales como patrimoniales, sobre la obra titulada **Aplicación de un sistema de calentamiento solar para fines de desalinización**, en lo sucesivo "LA OBRA", misma que constituye el trabajo de tesis que desarrolle para obtener el grado de **Licenciatura** en ésta casa de estudios, y en tal carácter autorizo al Instituto Tecnológico de Sonora, en adelante "EL INSTITUTO", para que efectúe la divulgación, publicación, comunicación pública, distribución y reproducción, así como la digitalización de la misma, con fines académicos o propios del objeto del Instituto, es decir, sin fines de lucro, por lo que la presente autorización la extiendo de forma gratuita.

Para efectos de lo anterior, EL INSTITUTO deberá reconocer en todo momento mi autoría y otorgarme el crédito correspondiente en todas las actividades mencionadas anteriormente de LA OBRA.

De igual forma, libero de toda responsabilidad a EL INSTITUTO por cualquier demanda o reclamación que se llegase a formular por cualquier persona, física o moral, que se considere con derechos sobre los resultados derivados de la presente autorización, o por cualquier violación a los derechos de autor y propiedad intelectual que cometa el suscrito frente a terceros con motivo de la presente autorización y del contenido mismo de la obra.



Luis Carlos Duarte Higuera
(Nombre y firma del autor)



E. Smerio



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA
Educar para Trascender

**“APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR PARA FINES DE
DESALINIZACIÓN”**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Químico

Presenta:

Luis Carlos Duarte Higuera

Asesor:

Juan Francisco Figueroa G.

DEDICATORIAS

A Dios:

En primer lugar te agradezco a ti Dios, por ayudarme a terminar este proyecto, gracias por darme la fuerza y el coraje para hacer este sueño realidad, por ponerme en este loco mundo, por estar conmigo en cada momento de mi vida. Por tu fidelidad, prometiste una buena escuela y diste algo que fue más allá de mis expectativas, por lo que me doy cuenta que no te vale mi desarrollo, pero antes de ser un profesionista quiero ser siempre tu hijo, ya que es el mayor privilegio que podemos tener, más valioso que todos los títulos de la tierra.

A mis padres:

Para mis padres Luis Carlos Duarte y Reyna Gpe. Higuera, por su comprensión y ayuda en momentos malos y buenos. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio. Gracias papás por estos estudios tan “dulces” que me han dado. Los amo.

A mi hermano:

A mi hermano Jesús Rodolfo (owo). Muchas gracias, estoy feliz de que aparte de ser mi hermano seas mi gran amigo, siempre me haces reír y alientas mi vida para salir adelante, lo que Dios ha hecho en ti me hace seguir firme y confiado, creyendo más y más cada día. Te quiero.

A mi novia:

A mi niña hermosa Conny, gracias por permitirme formar parte de tu vida, gracias por tu amor gracias por ser como eres, gracias por ser la mujer con los mejores sentimiento que he conocido, gracias por presionarme para terminar este trabajo, gracias por ayudarme con las correcciones, gracias por aguantarme, pero sobre todo gracias por enseñarme a creer en mí y motivarme hacer las cosas de la mejor manera. Gracias por todo Amore, te amo.

A mis Amigos:

A todos mis amigos, muchas gracias por estar conmigo en todo este tiempo donde he vivido momentos felices y tristes, gracias por ser mis amigos y recuerden que siempre los llevaré en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor:

A mi asesor Juan Fco. Figueroa, por haberme guiado durante el desarrollo de esta tesis. Gracias por el trabajo exigido que en su momento me hizo flaquear, pero que ahora le agradezco infinitamente porque fortaleció mi carácter, me enseñó a trabajar con mayor disciplina y a darme cuenta que puedo hacer más de lo que creo.

A mis sinodales:

A mis sinodales Jorge Saldivar C. y Germán Eduardo Dévora I. por sus valiosas aportaciones y comentarios; gracias por darme la oportunidad y por el tiempo que me han dedicado para leer este trabajo.

A mis maestros:

A mis profesores y profesoras que me enseñaron más que números y letras. Gracias por sus consejos y sus experiencias he aprendido demasiado.

A mis compañeros:

Gracias a mis compañeros por haber compartido estos 4 años en la universidad juntos sufriendo y desvelándonos.

Gracias a todos los que mi cabeza no pudo extraer de mi memoria éste día.

ÍNDICE

Capítulo I: Introducción	5
1.1 Antecedentes	5
1.2 Planteamiento del Problema	8
1.3 Justificación	9
1.4 Objetivo	10
1.5 Hipótesis	10
 Capítulo II: Marco teórico	 11
2.1 Tipos de calentadores solares	11
2.1.1 Los colectores solares con concentración	11
2.1.1.1 Colectores solares sin concentración	12
2.1.1.2 Colectores solares de placa plana	12
2.1.1.3 Colectores de aire	13
2.1.1.4 Colectores de vacío	14
2.1.1.5 Colectores cónicos o esféricos	15
2.1.2 Los colectores solares de concentración	16
2.1.2.1 Concentradores cilíndricos	16
2.1.2.2 Concentradores paraboloídes	17
2.2 Desalación	18
2.2.1 Destilación súbita por “efecto flash”	18
2.2.2 Destilación por “múltiple efecto”	19
2.2.3 Sistema por ósmosis inversa	19
2.2.4 Otros métodos	20
2.3 Análisis de salinidad	20
2.3.1 Salinidad	20
2.3.2 pH	21
2.3.3 Conductividad	22
2.4 Métodos instrumentales	22
 Capítulo III: Metodología y materiales	 24
3.1 Calentador solar	24
3.2 Desalador móvil	24
3.3 Pruebas de operación	26
3.4 Proceso para el balance de energía	26
3.5 Materiales	27
 Capítulo IV: Resultados	 28
4.1 Resultados de incremento de temperatura	28
4.2 Colector de agua utilizando solamente energía solar	30
4.3 Determinación de la eficiencia del colector solar	31
 Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	 33
5.1 Conclusiones	33
5.2 Recomendaciones	34
 Bibliografía	 35

CAPITULO I: Introducción

El consumo de los recursos como la energía y el gas ha ido incrementando en los últimos años por el aumento de la población o los avances científicos que han surgido, lo que lleva a empeorar la situación económica por los altos costos de dichos recursos. Por otra parte, el agua potable ha sido uno de los principales problemas que ha enfrentado la sociedad en los últimos años ya que no alcanza para todos, con los equipos de desalación de agua, se les puede dar frente a esta problemática.

1.1 Antecedentes

De acuerdo al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET, 2007), el agua caliente constituye un consumo energético importante en un hogar, debido a sus diversos usos como la higiene personal y la limpieza de la casa (INENCO; CONICET, 2007).

En los últimos años el aumento de las instalaciones de los colectores solares a nivel mundial han sido notables; sólo en los Estados Unidos se registró una cifra de 900,000 m² anuales y uno de sus principales usos fue el acondicionamiento del agua de piscinas debido a la bajas temperaturas de dicho país; en Australia a raíz de la crisis del petróleo, el uso de colectores solares creció rápidamente, el agua caliente sanitaria domiciliaria es la principal aplicación que se les da a éstos equipos solares a pesar de que existen instalaciones grandes con colectores solares, este tipo de mercado aún es despreciable; en Japón hay un promedio de 314,000 m² anuales de superficie de colectores solares, el 90% de las instalaciones se utiliza como agua caliente sanitaria en las casas de una familia, además existen normas para estos equipos pero no son obligatorios, sin embargo, todos los equipos instalados son certificados por el instituto de pruebas; el mayor mercado de colectores solares a nivel mundial es China con un promedio de 5.5 millones de m², el 75% de las instalaciones se encuentran en casas residenciales,

el 20% son utilizados en conjunto para varias casas familiares y el 5% es utilizado en comercios e industrias.(ESTIF,2003)

En América Latina, Cuba, México, Brasil y República Dominicana son los países que cada vez le ponen más atención a éstos equipos con energía solar, en el año 2000 existían en México 373,000 m² de colectores solares instalados. La CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía), en el año 2005 lanzó un programa para promover la venta de calentadores solares de agua en el sector doméstico con el motivo de obtener un ahorro en el área de combustibles y de la misma manera diseñar una estrategia de venta de calentadores solares de agua a nivel nacional. En el 2006 la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, estableció una “Norma Ambiental para el Distrito Federal” con la que se establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de los equipos para el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavanderías y tintorerías; esta Norma Ambiental tiene por objeto establecer los criterios para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua; los requerimientos mínimos de calidad; las especificaciones técnicas de instalación, funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de calentamiento de agua por medio del aprovechamiento de la energía solar; y aplica a establecimientos que inicien operaciones al día siguiente de la publicación de la presente Norma y a establecimientos que realicen la remodelación total de sus instalaciones en el Distrito Federal, que requieran agua caliente para realizar sus actividades.(GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL de MEXICO, 2005)

En México existe un vacío legal a pesar de que las energías renovables se encuentran contempladas en programas sectoriales, debido a que no existe una ley que las regule específicamente; el documento normativo más importante y más reciente es el Programa Nacional de Energía 2001-2006, en él está contenida la visión general del sector energético, la cual enfatiza una amplia promoción del uso de fuentes alternas de energía; para lograr sus propósitos, el programa establece diversos principios rectores de la política energética, entre los que se destaca el

uso de las fuentes renovables de energía para lograr el propósito de promover y permitir un desarrollo económico del país, proteger al medio ambiente y permitir un desarrollo sustentable en el largo plazo para todos los mexicanos. (SENER, 2002).

Los calentadores de agua mediante energía solar son unos de los equipos con los que se puede lograr los propósitos anteriormente mencionados; dentro de algunos procesos que se realizan con la ayuda de los colectores solares se encuentran principalmente la realización de tortillas o el calentamiento de agua salada para llevar a cabo la desalación.

La desalación de aguas procedentes del mar ha creado grandes expectativas a nivel mundial, pero también se ha constituido en fuente de polémica. Esta tecnología se propone como un medio alternativo a los discutidos trasvases para conseguir recursos hídricos de calidad en una zona históricamente afectada por la escasez de agua, hay diversos factores que hacen de la desalación de agua del mar una aplicación atractiva para las energías renovables. Por un lado, muchas zonas con escasez de agua desalada poseen un buen potencial de alguna de dichas energías, especialmente la eólica y la solar. Un factor positivo es la simultaneidad estacional entre la época de mayor demanda de agua potable y la disponibilidad de dichas energías. En numerosas localidades costeras y centros turísticos, la demanda de agua potable crece en verano, motivado por el gran aumento que experimenta la población debido al turismo. Y es precisamente en verano cuando la disponibilidad de la radiación solar es máxima. Todos estos factores han motivado que varias instituciones y organismos oficiales hayan desarrollado, o estén desarrollando, proyectos destinados a mejorar y hacer más competitivos los sistemas de desalación de agua de mar que funcionan con energías renovables (*Revista Consumer, 2004*).

En el estado de Sonora los colectores solares son aprovechados de una manera muy satisfactoria, gracias a las altas temperaturas que hay en éste estado; en Cd Obregón Sonora una de las localidades con temperaturas muy elevadas se

empiezan a ver lugares con colectores solares ya sea en hogares o en tortillerías aprovechando así la gran cantidad de energía regalada por el sol y adaptando los equipos desaladores de agua se podrá llevar agua a las zonas más necesitadas de la ciudad.

1.2 Planteamiento del problema

Uno de los problemas de la vida diaria es el problema energético el cuál es indispensable para la sociedad, por lo que es uno de los principales temas en las nuevas tecnologías. Con la energía se logran grandes avances científicos pero al mismo tiempo ocasionamos daños al medio ambiente; en la actualidad no se puede vivir sin energía por lo que los pagos para obtener este beneficio han ido incrementando en los últimos años por lo que nos lleva a desarrollar nuevos equipos como lo son los colectores solares, con éste tipo de equipos disminuyen los gastos en recursos como la energía eléctrica o gas, ya que de acuerdo a datos estadísticos en un hogar se puede ahorrar hasta un 70% de gastos en energía eléctrica y un 75 ó 85% en gastos de gas, por lo que estos equipos terminan siendo una inversión que se recuperará en algún tiempo determinado dependiendo el uso de los colectores solares (EDNA, 2011)

Así como la energía, otro problema que enfrenta la sociedad es la falta de agua, ya que el agua no alcanza para todos y hay zonas en la que no se cuenta con éste recurso indispensable para la vida; en el Estado de Sonora éste problema no pasa por desapercibido, existen siete presas en éste estado las cuales están a un 71.7% de su capacidad debido a que son ya quince años de sequía, lo cual ha llevado a que las presas tengan ese nivel tan bajo; con los equipos de desalación de agua se espera hacer llegar agua a zonas que no llega ya que se tiene como principal abastecedor el agua de mar que se encuentra cerca de las zonas afectadas (Soberón, 2009)

En un futuro se obtendrían grandes beneficios, también es muy poca la información que se le da a las personas con respecto a estos equipos lo que lleva a que mucha gente ni siquiera tenga conocimientos de los colectores solares.

1.3 Justificación

Con el uso de los colectores solares se verá beneficiado el medio ambiente ya que la escasez de agua es uno de los principales problemas que está atacando a nivel mundial, con estos equipos se disminuyen estos problemas gracias a que se está aprovechando una fuente de energía ecológica como lo son los rayos solares.

Durante este proyecto se evaluará la factibilidad de instalar en un equipo de desalación de agua con lo que se obtendrá el privilegio de llevar agua a zonas donde no hay y el colector solar tendrá la función de calentar el agua a una temperatura deseada con la que el equipo de desalación de agua trabajará y de esa manera el colector solar ayuda gracias a sus características de aprovechar la energía solar.

En el Estado de Sonora se cuenta con una gran cantidad de energía solar por lo que las personas no han sabido aprovecharla ya que son muy pocos los lugares que cuentan con estos sistemas; son especialmente utilizados en algunas tortillerías y en algunos hoteles, pero es una cifra despreciable; uno de los principales problemas que puede tener detenida a la sociedad al uso de éstos equipos puede ser el costo el cuál no debe de serlo ya que se considera una inversión a largo plazo.

Ir incorporando de poco a poco la energía solar a nuestro estilo de vida es una forma fácil de mejorar al medio ambiente.

1.4 Objetivo

Evaluar mediante un balance de energía la factibilidad de implementar un calentador solar para fines de desalación.

1.5 Hipótesis

Con la instalación del colector solar en el equipo desalador de agua se espera tener una eficiencia del 35% más de producción de agua desalinizada con respecto al sistema actual.

CAPÍTULO II: Marco teórico

2.1 Tipos de calentadores solares

Un colector solar es un equipo que permite calentar el agua aprovechando la luz solar, sin necesidad de usar gas, lo cual permite grandes ahorros de dinero que pueden variar desde un cincuenta a un ochenta por ciento. Esta variación depende del tamaño del calentador que se use y de la cantidad de radiación solar que el equipo pueda recibir en la zona geográfica donde se encuentra (Mextl, 2012).

Los colectores solares se dividen en dos grandes grupos:

2.1.1 Los Colectores Solares con concentración: Los concentradores son dispositivos capaces de aprovechar la energía solar con un sistema de espejos que concentran la energía proveniente del sol en un punto, para calentar agua y convertirla en vapor. Este vapor mueve unas turbinas que a su vez mueven un generador para producir electricidad. En la figura 1 se puede ver dos tipos de Colectores de concentración: Concentradores lineales y concentradores puntuales. En los concentradores lineales se alcanzan temperaturas de 200°C a 300°C, mientras que en los puntuales se alcanzan temperaturas mayores a los 300°C (Ponce, 2011).

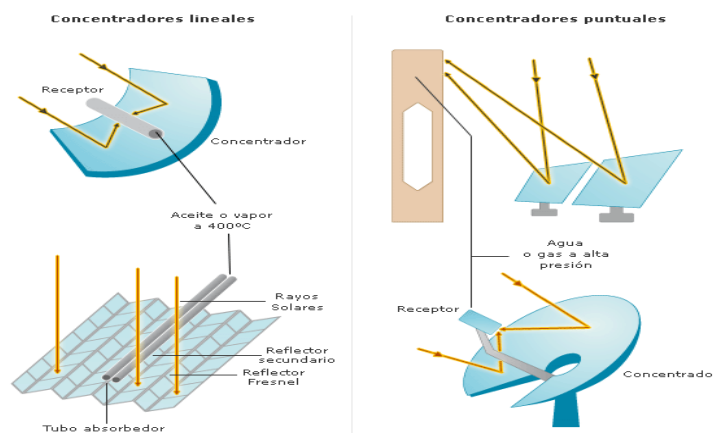


Figura 1. Colectores solares con concentración (Termosolar, 2010).

2.1.1.1 Colectores Solares sin concentración (Figura 2): Estos colectores se caracterizan por no poseer métodos de concentración, por lo que la relación entre la superficie del colector y la superficie de absorción es prácticamente la unidad.

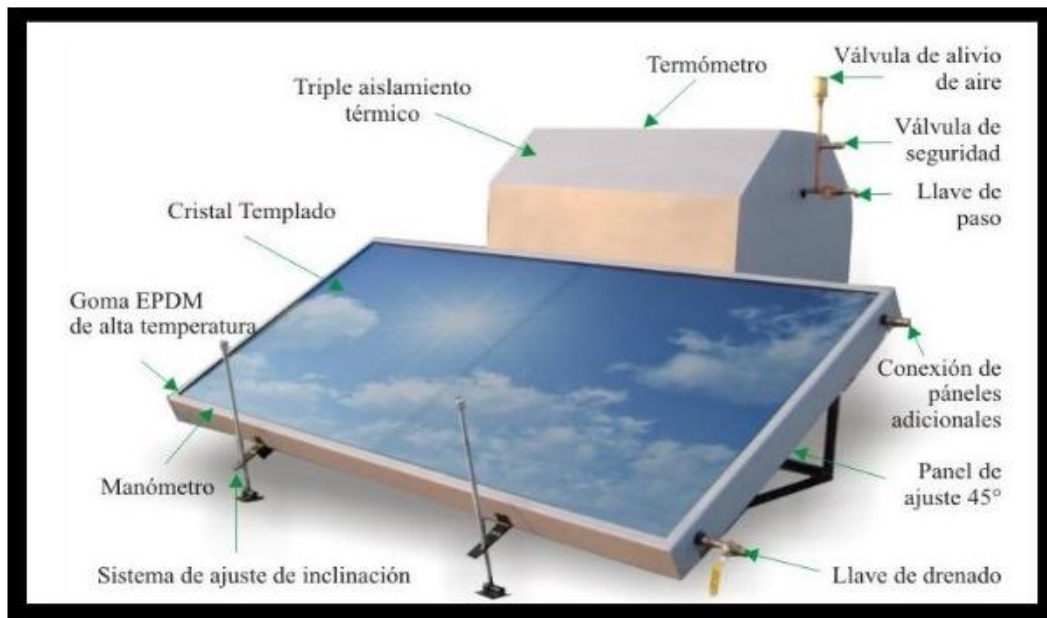


Figura 2. Colector solar sin concentración (Eco-energético).

2.1.1.2 Colector solar de Placa Plana: En general un colector de placa plana (figura 3) actúa como un receptor que recoge la energía procedente del Sol y calienta una placa. La energía almacenada en la placa es transferida al fluido. Usualmente, estos colectores poseen una cubierta transparente de vidrio o plástico que aprovecha el efecto invernadero, formado por una serie de tubos de cobre, los cuales expuestos al sol absorben la radiación solar y se la transmiten al fluido que atraviesa su interior. Su aplicación es la producción de agua caliente sanitaria, climatización de piscinas y calefacción.



Figura 3. Colector solar de placas planas
(China Suppliers, 2012).

2.1.1.3 Colectores de Aire: Los colectores de aire (figura 4) son colectores de tipo plano cuya principal característica es tener como fluido caloportador el aire. No tienen una temperatura máxima límite (los procesos convectivos tienen una menor influencia en el aire) y trabajan mejor en condiciones de circulación normal, pero en contraposición poseen una baja capacidad calorífica y el proceso de transferencia de calor entre placa y fluido es malo. Su aplicación principal es la calefacción.

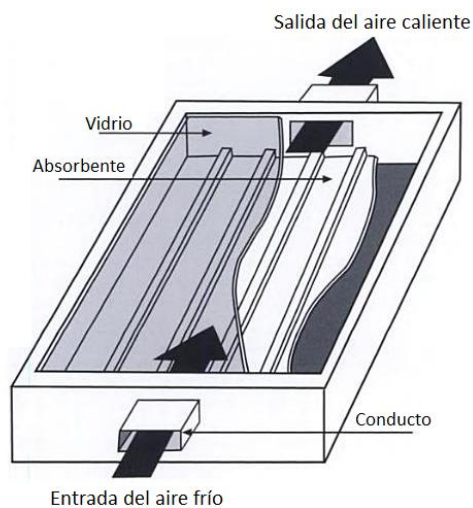


Figura 4. Colector de Aire (Ponce, 2011).

2.1.1.4 Colectores de Vacío: Los colectores de vacío van dotados de una doble cubierta envolvente, herméticamente cerrada, aislada del interior y del exterior, y en la cual se ha hecho el vacío (figura 5). Su finalidad es la de reducir las pérdidas por convección. Son más caros, además de perder el efecto del vacío con el paso del tiempo. Su aplicación principal es la producción de agua caliente sanitaria y climatización de piscinas.

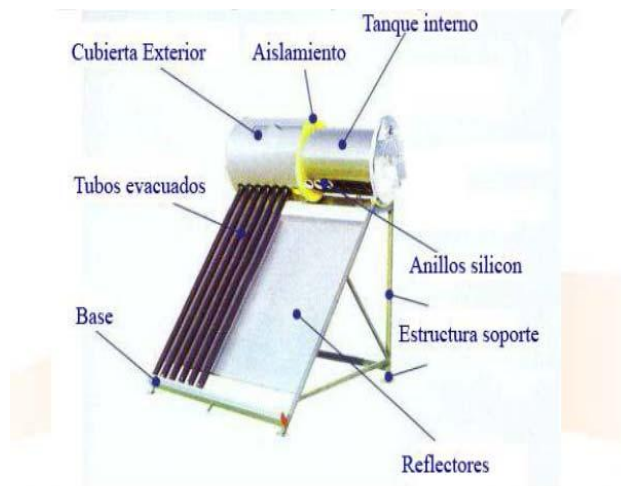


Figura 5. Estructura de un colector solar de Vacío (Biodisol, 2010).

La Radiación solar es transformada en calor útil por los tubos evacuados y transmitida al agua, que de esta manera se calienta. El vacío en los tubos elimina las pérdidas de calor al ambiente. El tanque aislado (termo-tanque) mantiene el agua caliente las 24 horas del día.

Los tubos de vacío (figura 6) está formado por un tubo exterior e interior, nitrato de aluminio (recubrimiento selectivo), glóster de bario (elemento de absorción que mantiene el vacío) y una capa de bario puro.



Figura 6. Tubo de vacío(Biodisol, 2010).

2.1.1.5 Colectores Cónicos o esféricos (Figura 7): Su principal característica es que constituyen simultáneamente la unidad de captación y de almacenamiento. Su superficie de captación es cónica o esférica con una cubierta de vidrio de la misma geometría. Con estas geometrías se consigue que la superficie iluminada a lo largo del día, en ausencia de sombra, sea constante. Su instalación es sencilla, pero presentan problemas de estratificación del agua y la superficie útil de captación es pequeña. Su aplicación principal es la producción de agua caliente sanitaria.

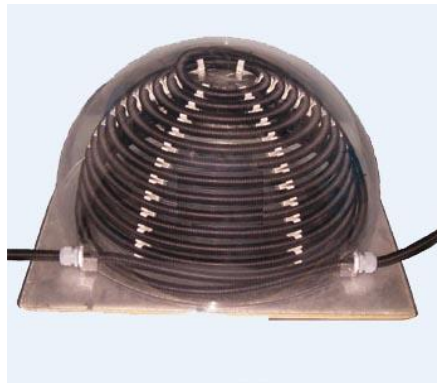


Figura 7. Colector solar esférico (Todo en piscinas, 2012).

2.1.2 Los Colectores Solares de Concentración: Los colectores solares de concentración (Figura 8), hacen uso de los métodos de concentración de la óptica, son capaces de elevar la temperatura de fluido a más de 70° C; usan sistemas especiales con el fin de aumentar la intensidad de la radiación sobre la superficie absorbente y de este modo conseguir altas temperaturas en el fluido calo portador. La principal complicación que presentan es la necesidad de un sistema de seguimiento para conseguir que el colector esté permanentemente orientado en dirección al Sol.



Figura 8. Colectores solares de concentración (Hernández, 2012).

2.1.2.1 Concentradores cilíndricos: En los concentradores cilíndricos (Figura 9) su superficie reflectora es la mitad de un cilindro. Su aplicación principal es la producción de vapor en una central térmica.



Figura 9. Concentradores cilíndricos (Swiss Technology, 2007).

2.1.2.2 Concentradores parabólicos: En los concentradores parabólicos (Figura 10) su superficie reflectora presenta una geometría de paraboloide de revolución. Su aplicación principal es la producción de vapor en una central térmica.



Figura 10. Concentradores parabólicos (Placas solares, 2012).

(PROCOBRE | ICA INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION, LTD, 2007)

2.2 Desalación

La desalación es un proceso de separación de la sal del agua del mar o de las aguas salobres, para hacerlas potables o útiles para otros fines (MINAE, 2008).

Lo que llamamos agua son distintas disoluciones naturales que varían, desde aguas muy finas de manantial de montaña de 0,2 gramos de sal por litro hasta los 35 gramos del agua del mar. El agua para el consumo humano no debe tener más de 1 gramo por litro ni ser agua destilada. Tampoco es conveniente que sea muy escasa en sales (AEDyR, 2008). En la tabla 1 se muestra los rangos de salinidad de diferentes tipos de agua.

Tabla 1. Rangos de salinidad de diferentes tipos de agua	
Tipos de agua	Salinidad (ppm)
Ultrapura	0.03
Pura (calderas)	0.3
Desionizada	3
Dulce (potable)	<1.000
Salobre	1.000 – 10.000
Salina	10.000 – 30.000
Marina	30.000 – 50.000

Fuente: (Lanntech, 2011)

Las principales tecnologías usadas para la desalación de agua son:

2.2.1 Destilación súbita por “efecto flash” - MSF. Es el proceso de destilación más utilizado en el mundo, sobre todo en Oriente Medio. Especialmente indicado para aguas con altas salinidad, temperatura y contaminación; su capacidad es mucho mayor que la de otras plantas destiladoras. Pero tiene el inconveniente de que su consumo específico de energía es de los más grandes entre los procesos conocidos, lo que lo hace sólo permisible para naciones con energía barata.

2.2.2 Destilación por “múltiple efecto” - MED. Es muy aconsejable cuando se aprovechan los calores residuales procedentes del vapor de escape de las turbinas, motores diesel, turbinas de gas, etc., en las instalaciones de cogeneración en las que hay un considerable ahorro energético, y cuando no se pueden aplicar otros procesos. Es apto para conseguir grandes caudales para abastecimiento de poblaciones, a bajos costes. Este tipo de plantas industriales son muy versátiles y flexibles, tienen bajo consumo de mantenimiento y pueden tener una rápida amortización. Produce agua de gran calidad, con bajos contenidos de sólidos, pudiendo reciclarse posteriormente para ser utilizada agrícolamente, lo que no podría ser si tuvieran un alto contenido en sales. Su capacidad suele ser más reducida que las de MSF —no suele superar los 15.000 m³/d, pero tienen un mejor rendimiento global con respecto a las mismas. En las Islas Canarias se hizo una instalación de este tipo hace ya más de 25 años, que sigue funcionando, así como otras análogas, hasta superar el número de 50. Siguiendo el mismo proceso, pero utilizando una fuente de energía diferente termocompresores, se logra una capacidad desalinizadora mucho mayor.

2.2.3 Sistema por ósmosis inversa. En la década de los ochenta empezó el desarrollo y aplicación del sistema de ósmosis inversa, convirtiéndose en el más utilizado en la actualidad. Entre otras razones, por ser, entre todos los procesos para desalinización de agua de mar, el de más bajo consumo energético, menores costos de inversión y producción, y mayor flexibilidad de ampliación en el caso de aumento de demanda. Se sigue investigando en este sistema con la creación de nuevos modos y tipos de membranas, con mayor eficacia y rendimiento, más alargamiento de vida y menor costo de fabricación. Las plantas desalinizadoras, fijas o móviles, algunas de ellas de pequeño tamaño, son muy recomendables para según qué uso, circunstancias y situaciones. Se recomiendan para sequías circunstanciales, abastecimientos turísticos estacionales, emergencias o utilizaciones temporales reducidas, y casos análogos.

2.2.4 Otros métodos

- El método por destilación solar tiene, obviamente, un coste energético muy bajo, pero su limitada producción hace que estas desalinizadoras sean de baja operatividad. Sólo es posible pensar en estas instalaciones en sitios totalmente aislados y faltos de suministro de electricidad y agua.
- Los métodos de congelación y formación de hidratos, mediante el proceso de cristalización, no han sido aun suficientemente desarrollados, con ensayos a escala reducida.
- El método de destilación por membranas, que combina los procesos de evaporación y filtración, además de consumir más energía, necesita mayor espacio para su instalación. Sólo ha sido probado en laboratorio.
- El método de compresión mecánica de vapor, mediante el proceso de evaporación, es de muy bajo consumo específico, pero tiene el inconveniente de que no existen compresores de tamaño adecuado para una producción acorde con la natural demanda.
- El método de electrodiálisis es un proceso de filtración recomendable sólo para el tratamiento de aguas salobres, o en el reaprovechamiento de aguas residuales.
- El método de intercambio iónico es aplicado en la adecuación de agua para calderas, extraída de ciertos acuíferos o de vapores acumulados. Su costo no es apropiado para aguas salobres y de mar (MINAE, 2008).

2.3 Análisis de salinidad

2.3.1 Salinidad.- La salinidad es una de las características que más interesa estudiar al oceanógrafo, sea químico, físico o biólogo. Esta propiedad resulta de la combinación de las diferentes sales que se encuentran disueltas en el agua oceánica, siendo las principales los cloruros, carbonatos y sulfatos por estar en mayor presencia en el mar. Se puede decir que básicamente el mar es una solución acuosa de sales, característica que le confiere su sabor; de estas sales, el cloruro de sodio, conocido como sal común, destaca por su cantidad, ya que

constituye por sí sola el 56 por ciento de las sales. El restante 44 por ciento corresponde a los otros componentes.

La salinidad varía en dirección tanto horizontal como vertical y aun en un mismo punto puede sufrir variaciones en las diferentes estaciones del año. Los factores que hacen cambiar la salinidad son, en primer lugar, la temperatura ya que si es elevada provoca una evaporación intensa y por lo tanto un incremento de salinidad resultante de la concentración de sales; en segundo lugar, los aportes de agua dulce, que por dilución, disminuye la salinidad (AEDyR, 2008).

Tabla 2. Relación temperatura / salinidad		
Profundidad en metros	Temperatura 0° C	Salinidad
0	26.44	37.45
50	18.21	36.02
100	13.44	35.34
500	9.46	35.11
1,000	6.17	34.90
1,500	5.25	34.05

Fuente: (Ponce, 2011).

De aquí que, por regla general, se presente una mayor salinidad en las zonas tropicales que en las de latitud elevada.

2.3.2 pH.- Otro de los factores que requieren de un mayor estudio es el pH, es decir, la relación entre la concentración de iones hidrógeno (H^+) y oxhidrilos (OH^-) que le confiere las características de alcalinidad o de acidez a una solución. El agua oceánica es ligeramente alcalina, y el valor de su pH está entre 7.5 y 8.4 y varía en función de la temperatura; si ésta aumenta, el pH disminuye y tiende a la acidez; también puede variar en función de la salinidad, de la presión o profundidad y de la actividad vital de los organismos marinos (biblioteca digital ILCE, 2009).

2.3.3 Conductividad.- El agua es conductora de la electricidad dependiendo de las sales que contenga en disolución, aumentando con su concentración y temperatura. La conductividad se expresa en Siemens/cm y su inversa, la resistividad, en ohm x cm o en megaohm x cm.

Como parámetros indicadores en aguas potables se aconseja hasta un máximo de 2500 S/cm a 20 grados.

La conductividad del agua puede oscilar desde 0,055 S/cm de aguas ultra puras hasta los 60,000 en agua de mar (Agua pasión, 2011).

La conductividad de nuestros sistemas continentales generalmente es baja, variando entre 50 y 1,500 μ S/cm. En sistemas dulce-acuícolas, conductividades por fuera de este rango pueden indicar que el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados. Algunos efluentes industriales pueden llegar a tener más de 10.000 μ S/cm (Red Mapsa, 2007).

2.4 Métodos instrumentales.

Conductímetro.- Los conductímetros sirven para la medición del valor pH, la conductividad, la salinidad y también la temperatura. Al conectar estos equipos se realiza auto verificación para garantizar la precisión de medición necesaria. También está equipado con un indicador de estabilidad. Los factores de compensación y temperatura pueden ser adaptados a las condiciones ambientales. El conductímetro posee un cartucho de electrodo fácilmente reemplazable en el que se encuentran el electrodo de pH y un electrodo de salinidad, conductividad. Los electrodos son resistentes a sales adherentes y otras sustancias. Para la medición rápida y precisa de la temperatura, el comprobador pH, posee una sonda de acero inoxidable (Alaquairum, 2003).

Termómetro.- El termómetro es un instrumento que se usa para medir la temperatura. Su presentación más común es de vidrio, el cual contiene un tubo

interior con mercurio, que se expande o dilata debidos a los cambios de temperatura. Para determinar la temperatura, el termómetro cuenta con una escala debidamente graduada que la relaciona con el volumen que ocupa el mercurio en el tubo. Las presentaciones más modernas son de tipo digital, aunque el mecanismo interno suele ser el mismo (tiposde.org, 2012).

Pistola infrarroja.- Este termómetro es perfecto para cualquier persona que necesite verificar la temperatura de una máquina funcionando o de un instrumento. Con su largo alcance, la medida exacta y respuesta inmediata (tiposde.org, 2012).

Condensador.- Un condensador es un cambiador de calor latente que convierte el vapor de su estado gaseoso a su estado líquido, también conocido como fase de transición (Aladro, 2000).

CAPITULO III: Metodología y materiales

3.1 Calentador solar.- El colector solar es un equipo que fue adaptado al desalador de agua por lo cual se necesitó prepararlo para dejarlo con las mejores condiciones para que el equipo en general fuera eficiente en su trabajo; el equipo de desalación anteriormente contaba con un colector solar de placas planas (Figura 10) el cual fue removido debido a que no calentaba el agua lo necesario para que funcionara correctamente. Además se cambió la estética del colector solar que se adaptó, se le quitó lo oxidado y se pintó para tener una mejor presentación.

3.2 Desaladora móvil.- El desalador es un equipo que ya ha sido utilizado anteriormente (Figura 10), con la adaptación del colector solar de tubos, se tuvo una mejor eficiencia , además tenía mucho tiempo sin ser utilizado por lo que las tuberías se cambiaron por nuevas ya que se encontraban tostadas por el sol; también se cambió la estética del equipo realizando limpieza general; además se cambió el condensador , ya que el que tenía no cumplía con la necesidad que se deseaba por lo cual se diseñó un nuevo condensador; la desaladora cuenta con un compresor que también ha estado sin trabajar por lo que el motor tenía señas de quedarse pegado, por lo que se cambió el filtro y el aceite para que pudiera realizar su función correctamente.



Figura 10. Prototipo antiguo de desalación por destilación solar (Ponce, 2011).

3.3 Pruebas de operación.- Para saber si el colector solar iba a funcionar con el equipo desalador de agua se realizaron algunas pruebas previas; inicialmente se instaló el colector solar de acuerdo a las instrucciones del manual, una vez instalado el equipo se llenó el tanque, es importante que quedaran las válvulas abiertas para saber cuándo se llenó el tanque, también es importante que los tubos no estén calientes ya que pueden romperse debido a un choque térmico, una vez lleno el tanque se cerraron las válvulas y se dejó 2 horas a que caliente, al meter el agua al tanque se debió conocer la temperatura a la que estaba entrando para saber qué cambio tuvo la temperatura, al paso de las 2 horas se abrió la válvula de salida, se tomó una muestra para medir la temperatura final y así se supo qué cambio hubo en la temperatura del agua.

3.4 Procedimiento para el balance de energía.- Cuando se realizó el balance de energía fue necesario calcular el flujo másico (m) que había en el colector solar mediante la fórmula $m = \text{masa}/\text{tiempo}$, además fue necesario investigar la radiación solar emanada (q_{em}) en Ciudad Obregón, Sonora la cuál fue: $q_{em} = 37.76 \frac{W}{m^2}$ de 8 a 10 horas del día, $40.92 \frac{W}{m^2}$ de 14 a 16 horas y $25.30 \frac{W}{m^2}$ de 20 a 22 horas del día (CONAGUA, 2012), datos obtenidos promediando la radiación solar del 12 al 16 de Mayo del 2012 a las horas anteriormente mencionadas; con la radiación solar conocida fue posible calcular la energía que absorbió el equipo durante 2 horas por lo que se utilizó la siguiente fórmula: $Energía = q_{em} * Área$, conociendo el área de absorción que es igual a $1.97 m^2$; una vez calculada la energía que absorbe el colector solar se continuó a calcular la energía recibida (q_{rec}) por el agua para elevar su temperatura, esto se llevó a cabo mediante la fórmula $q_{rec} = m * Cp * \Delta T$ conociendo que Cp del agua es $1 \frac{Cal}{gr^{\circ}C}$ (Contreras, 2003) ; finalmente se puede calcular la eficiencia (η) del colector solar mediante la fórmula: $\eta = \frac{q_{rec}}{Energía}$

3.5 Materiales

- Termómetro Brannan 76 mm inmersión.- Este instrumento de medición de temperatura fue utilizado para saber la temperatura del agua a la salida y a la entrada del tanque del colector solar, se tomó una muestra del agua que entraba y salía, para medirle la temperatura; fue utilizado tres veces al día durante cinco días, se realizó la primer medición a las 8 horas del día, después a las 14 horas y finalmente a las 20 horas del día.
- Probeta graduada 1 litro.- Este instrumento de medición de volumen fue utilizado para conocer el flujo másico en el tanque del colector solar con la ayuda de un cronómetro, se manejó agregándole agua, y a un determinado volumen se detuvo el cronómetro; con los dos datos que se obtuvieron fue posible lograr su objetivo; fue utilizado tres veces al día durante cinco días, se realizó la primer medición a las 8 horas del día, después a las 14 horas y finalmente a las 20 horas del día.
- Cronómetro.- Este instrumento de medición de tiempo fue utilizado para conocer el flujo másico en el tanque del colector con la ayuda de la probeta, se manejó agregándole agua a la probeta cuando empezó a llenarse el cronómetro se puso en marcha, cuando se retiró la probeta, el cronómetro se detuvo y así se obtuvo el volumen con un determinado tiempo, lo necesario para calcular el flujo másico. El cronómetro fue utilizado tres veces al día durante cinco días, se realizó la primera medición a las 8 horas del día, después a las 14 horas y finalmente a las 20 horas del día.

CAPÍTULO IV: Resultados

4.1 Resultados de incremento de temperatura.



Figura 11. Prototipo actual de desalación por destilación solar.

En la figura 11 se muestra el prototipo actual de destilación solar con el que se realizaron los análisis durante 5 días, obteniendo los resultados que se pueden ver en la tabla 3 donde fue medida la temperatura de entrada y la temperatura de salida del agua en una determinada hora.

Tabla 3. Análisis de temperaturas de agua en el colector solar.			
Fecha	Hora	Temperatura de entrada °C	Temperatura de salida °C
12/05/2012	08:00 a.m.	29	83
12/05/2012	14:00 p.m.	30	95
12/05/2012	20:00 p.m.	29	50
13/05/2012	08:00 a.m.	27	85
13/05/2012	14:00 p.m.	30	97
13/05/2012	20:00 p.m.	29	52
14/05/2012	08:00 a.m.	27	85
14/05/2012	14:00 p.m.	30	97
14/05/2012	20:00 p.m.	29	49
15/05/2012	08:00 a.m.	29	80
15/05/2012	14:00 p.m.	31	103
15/05/2012	20:00 p.m.	27	52
16/05/2012	08:00 a.m.	29	80
16/05/2012	14:00 p.m.	31	94
16/05/2012	20:00 p.m.	29	52

Con los resultados obtenidos se observa que la temperatura final máxima de agua fue de 103°C y todos los resultados a las 14:00 horas del día son muy viables para iniciar el proceso de desalación, los resultados obtenidos a las 8 horas del día no son tan elevadas pero el agua llega a tener una temperatura final hasta de 85°C y también es perfecto iniciar el proceso a esas temperaturas; sin embargo a las 20:00 horas del día la máxima temperatura registrada del agua fue de 52°C lo cuál es muy bajo, considerando que la temperatura necesaria para la evaporación a las condiciones de vacío que se tienen es de 76.66°C (El-Sayed, 1996).

4.2 Colector de agua utilizando solamente energía solar

Los resultados de las medias obtenidas se graficaron y el programa Microsoft Excel y se muestran en la figura 12

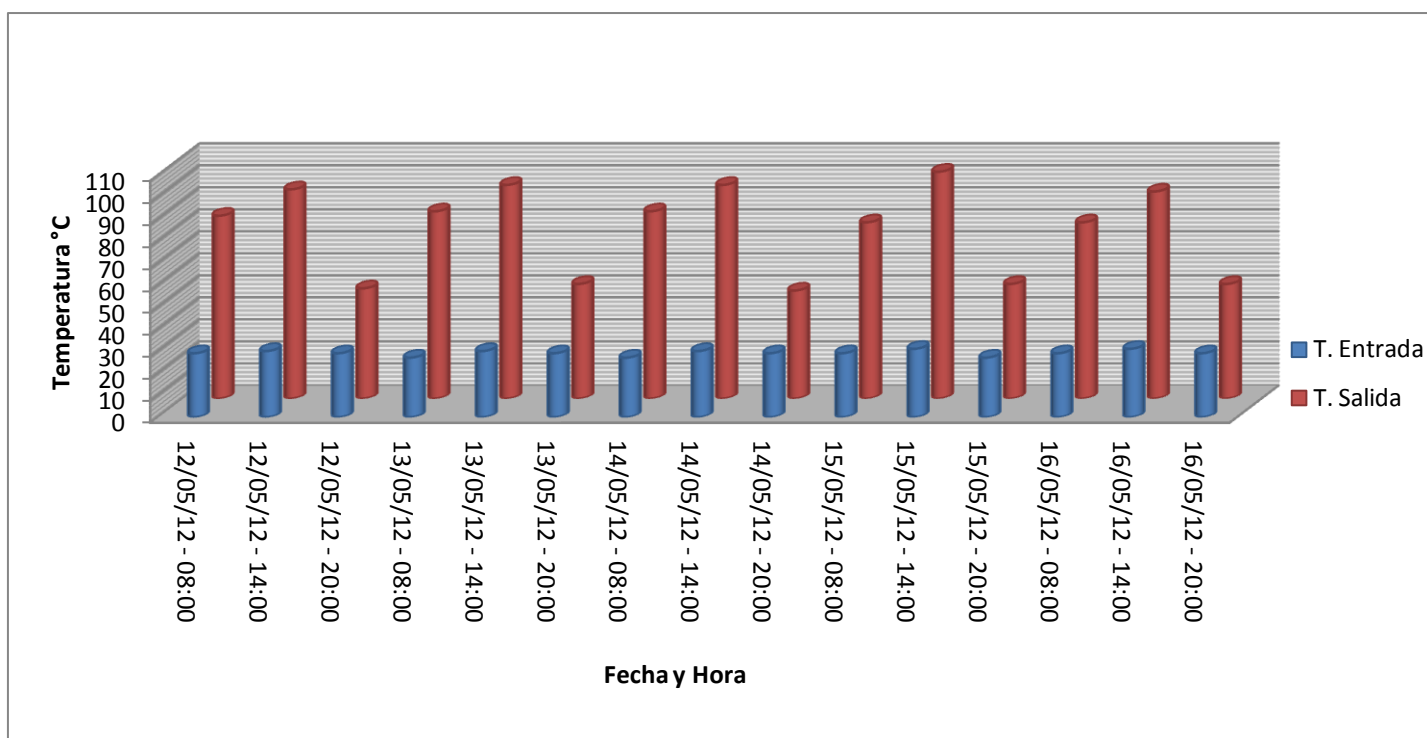


Figura 12. Temperaturas durante el calentamiento de agua en colector mediante energía solar.

En la gráfica anterior se muestra con color azul las temperaturas de entrada del agua al colector solar, y en color rojo se muestra la temperatura cuando sale del colector. En los 5 días que se realizaron los análisis se registraron incrementos entre los 21°C hasta los 72°C, lo cual se encuentra dentro de los datos de eficiencia del equipo que nos indica que puede alcanzar una temperatura de 121°C (Termosolar, 2010), y con esto nos indica que es un equipo que funcionará muy bien con el equipo de desalación de agua, los cambios dependen de la hora en la que se ha realizado la medición se detecta el máximo aumento en la tarde (14:00 horas) y el mínimo aumento se registra en las noches (20:00 horas) ya que la radiación solar es mínima.

4.3.- Determinación de la eficiencia del colector solar.

Con los datos obtenidos en el análisis durante los 5 días es posible calcular la eficiencia del colector solar de tubos

$$\text{Energía} = q_{em} * \text{Área}$$

Conociendo que: Área = 1.97 m^2

Mañana:

$$\text{Energía} = 37.76 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 1.97 \text{ m}^2 = 74.38 \frac{\text{J}}{\text{seg}}$$

$$\text{Convirtiendo: } 74.38 \frac{\text{J}}{\text{seg}} * 2 \text{ Hrs} * 3600 \frac{\text{seg}}{\text{Hrs}} = 535,587.84 \text{ J} = \mathbf{535.58 \text{ KJ}}$$

Una vez calculada la energía que absorbe el colector solar se prosigue a calcular la energía recibida (q_{rec}) por el agua para elevar su temperatura, donde $m = .24055 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$.

$$q_{rec} = .24055 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} * 1 \frac{\text{Cal}}{\text{gr}^\circ\text{C}} * (82.6^\circ\text{C} - 28.2^\circ\text{C}) = \mathbf{13.08 \frac{\text{Cal}}{\text{seg}}}$$

$$\text{Convirtiendo: } 13.08 \frac{\text{Cal}}{\text{seg}} * 2 \text{ Hrs} * 3600 \frac{\text{seg}}{\text{Hrs}} = 94,176 \text{ Cal} = \mathbf{94.176 \text{ KJ}}$$

Calculo de la eficiencia del colector solar (η):

$$\eta = \frac{q_{rec}}{\text{Energía}}$$

$$\eta = \frac{94.176 \text{ KJ}}{535.58 \text{ KJ}} = .1758 = \mathbf{17.58\%}$$

Tarde:

$$\text{Energía} = 40.92 \frac{W}{m^2} * 1.97 m^2 = 80.61 \frac{J}{seg}$$

$$\text{Convirtiendo: } 80.61 \frac{J}{seg} * 2 \text{ Hrs} * 3600 \frac{seg}{Hrs} = 580,392 J = 580.392 \text{ KJ}$$

$$q_{rec} = .24055 \frac{Kg}{seg} * 1 \frac{Cal}{gr^{\circ}C} * (97.2^{\circ}C - 30.4^{\circ}C) = 16.06 \frac{Cal}{seg}$$

$$\text{Convirtiendo: } 16.06 \frac{Cal}{seg} * 2 \text{ Hrs} * 3600 \frac{seg}{Hrs} = 115,632 \text{ Cal} = 115.632 \text{ KJ}$$

Calculo de la eficiencia del colector solar (η):

$$\eta = \frac{q_{rec}}{\text{Energía}}$$

$$\eta = \frac{115.632 KJ}{580.392 KJ} = .1992 = 19.92\%$$

Noche:

$$\text{Energía} = 25.30 \frac{W}{m^2} * 1.97 m^2 = 49.84 \frac{J}{seg}$$

$$\text{Convirtiendo: } 49.84 \frac{J}{seg} * 2 \text{ Hrs} * 3600 \frac{seg}{Hrs} = 358,848 J = 358.848 \text{ KJ}$$

$$q_{rec} = .24055 \frac{Kg}{seg} * 1 \frac{Cal}{gr^{\circ}C} * (51^{\circ}C - 28.6^{\circ}C) = 5.38 \frac{Cal}{seg}$$

$$\text{Convirtiendo: } 5.38 \frac{Cal}{seg} * 2 \text{ Hrs} * 3600 \frac{seg}{Hrs} = 38,736 \text{ Cal} = 38.736 \text{ KJ}$$

Calculo de la eficiencia del colector solar (η):

$$\eta = \frac{q_{rec}}{\text{Energía}}$$

$$\eta = \frac{38.736 KJ}{358.848 KJ} = .1079 = 10.79\%$$

CAPÍTULO V: Conclusiones y recomendaciones

5.1.- Conclusiones

Con respecto a los resultados obtenidos en el análisis durante los 5 días el colector solar si es viable para lograr que el equipo de desalación funcione sin necesidad de usar otros medios como precalentar el agua ya que las temperaturas alcanzadas mayores a 70°C son las apropiadas para lograr la evaporación.

Con la ecuación de la eficiencia se obtuvo un valor del 17.58% de eficiencia por la mañana, 19.92% por la tarde y 10.79% por las noches lo cuál fue suficiente para lograr alcanzar las temperaturas adecuadas.

Se cumple el objetivo de la investigación ya que se adapta el colector solar al equipo de desalación de agua, además se realizó el balance de energía al equipo para conocer su eficiencia.

5.2.- Recomendaciones

- La instalación de instrumentación para medir velocidad de aire, temperaturas, radiación, entre otros factores, logrará evaluar al colector solar de manera más sencilla y más correcta.
- Modificar el condensador, cambiando el flujo en paralelo a flujo a contracorriente, para aumentar el área de contacto, incrementando la eficiencia en el intercambio de calor. Esto permitirá disminuir considerablemente las pérdidas, aumentando el caudal de producto.
- Instalar tuberías para llevar a cabo una recirculación del condensador al colector solar, así el agua de entrada al colector entrará más caliente por lo que tendrá una mejor eficiencia.
- Cambiar la tubería de todo el equipo ya que se encuentra dañada por el sol y da el mantenimiento al compresor ya que lleva mucho tiempo sin ser utilizado.
- Cambiar la barra de magnesio que se encuentra en el interior del tanque por lo menos cada dos años para evitar que el colector se oxide.
- Manejar con precaución el equipo completo ya que los tubos del colector solar pueden quebrarse lo cual hará que disminuya su eficiencia.

Bibliografía

1. AEDyR. (2008). *Desalación*. Recuperado el 11 de 04 de 2012, de <http://www.aedyr.eu/desalacion.php>
2. Agua pasión. (18 de 01 de 2011). *Análisis del agua: Conductividad*. Recuperado el 11 de 04 de 2012, de <http://www.aguapasion.es/blog/osmosis-inversa/45149-analisis-agua-conductividad>
3. Aladro, J. (2000). *Componentes electrónicos*. Recuperado el 9 de 05 de 2012, de <http://www.planetaelectronico.com/cursillo/tema2/tema2.3.html>
4. Alaquairum. (2003). *Química del agua*. Recuperado el 09 de 05 de 2012, de http://www.alaquairum.net/quimica_del_agua.htm
5. biblioteca digital ILCE. (2009). *PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA DE MAR: SALINIDAD, CLORINIDAD Y pH*. Recuperado el 11 de 04 de 2012, de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec_17.html
6. Biodisol. (2010). *Colectores solares*. Recuperado el 09 de 05 de 2012, de <http://www.biodisol.com/contactenos-comuniquese-con-nosotros-o-envienos-un-e-mail/calentadores-solares-presentan-los-mejores-colectores-solares-para-agua-caliente-que-se-pueden-adquirir-en-argentina-energia-solar-termica/>
7. CALENTADOR SOLAR. (2012). *mex.tl*. Recuperado el 11 de 04 de 2012, de <http://www.ahorregaslp.mex.tl/>
8. China Suppliers. (2012). *Calentador de agua de la placa plana*. Recuperado el 09 de 05 de 2012, de http://es.made-in-china.com/co_aojackgroup/product_group_Solar-Renewable-Energy_ysuossssss_1.html
9. CONAGUA. (2012). *Comisión Nacional del Agua*. Recuperado el 16 de 05 de 2012, de <http://smn.cna.gob.mx/emas/>
10. Contreras, D. E. (13 de 09 de 2003). *Capacidad calorífica del agua*. Recuperado el 01 de 06 de 2012, de <http://laguna.fmedic.unam.mx/~evazquez/0403/capacidad%20calorifica%20agua.html>
11. Eco-energético. (s.f.). *Energía solar térmica*. Recuperado el 01 de 06 de 2012, de 2012: <http://www.eco-energetica.com/sitio/sala/tips/solar/>
12. EDNA. (2011). *Reservas de gas y petróleo*. Recuperado el 17 de 06 de 2012, de http://www.portalplanetasedna.com.ar/reservas_petroleo.htm

13. El-Sayed, M. A. (1996). *Chemistry and Biochemistry*. Recuperado el 01 de 06 de 2012, de <http://www.chemistry.gatech.edu/faculty/El-Sayed/>
14. Hernández, K. (2012). *Las energías renovables son el futuro*. Recuperado el 09 de 05 de 2012, de <http://danielcamilopinzon.blogspot.mx/2011/05/las-energias-renovables-son-el-futuro.html>
15. INENCO; CONICET. (2007). *Colectores Solares para agua caliente*. Recuperado el 13 de 04 de 2012, de http://www.inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores_solares_aguacaliente.pdf
16. Lanntech. (2011). *La tecnología de desalación*. Recuperado el 17 de 06 de 2012, de <http://www.lenntech.es/desalacion/desalacion.htm>
17. Mextl. (2012). *Colectores Solare*. Recuperado el 13 de 04 de 2012, de www.mextl.com
18. MINAE. (julio de 2008). *Plan de Abastecimiento de Agua para Guanacaste, Desalinización, Documento técnico*. Recuperado el 11 de 04 de 2012, de <http://www.drh.go.cr/sardinal/planaguaguanacastepaag/2anexospaag/Aguas%20Superficiales/mediadoplazo/3desalinizacion.pdf>
19. Placas solares. (2012). *colectores solares*. Recuperado el 9 de 05 de 2012, de <http://www.placa-solar.com/colectores-solares.html>
20. Ponce, N. E. (Diciembre de 2011). Capacidad de producción de agua dulce de un prototipo de desalación solar, en el estado de Sonora, México. Cd obregón, Sonora, Mexico.
21. PROCOBRE | ICA INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION, LTD. (2007). *Tipos de colectores solares*. Recuperado el 11 de 04 de 2012, de http://www.procobre.org/procobre/aplicaciones_del_cobre/energia_solar_detalle3.html
22. Red Mapsa. (06 de 2007). *Conductividad*. Recuperado el 11 de 04 de 2012, de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf
23. Soberón, G. (20 de 08 de 2009). *Hay poca agua en Sonora: CONAGUA*. Recuperado el 17 de 06 de 2012, de <http://noticiasdelagua.blogspot.mx/2009/08/hay-poca-agua-en-sonora-conagua.html>
24. Swiss Technology. (2007). *El colector UHV*. Recuperado el 09 de 05 de 2012, de <http://www.srbenergy.com/pages/con-concentradores-cilindricos>
25. Termosolar. (2010). *Energía solar termoeléctrica*. Recuperado el 09 de 05 de 2012, de http://www.abengoasolar.com/corp/web/es/tecnologias/termosolar/que_es/index.html
26. tiposde.org. (2012). *Tipos de termómetros*. Recuperado el 09 de 05 de 2012, de <http://www.tiposde.org/ciencias-naturales/20-tipos-de-termometros/>

27. Todo en piscinas. (2012). *Colector solar esférico*. Recuperado el 09 de 05 de 2012, de <http://www.todoenpiscinas.com/Colector-semiesferico-con-cubierta>