



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA.

**EVALUACIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR
PARA USO DE LOS LABORATORIOS DEL
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE
MISANTLA.**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERÍA AMBIENTAL**

P R E S E N T A

NOMBRE DEL ALUMNO

MIRIAM JESICA ZAMORA ANTONIO

Director

M.I. DANIEL AGUAYO SIQUEROS

Codirector

M.C. ALAN ANTONIO RICO BARRAGÁN

MISANTLA, VERACRUZ

ABRIL, 2019



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

FECHA: 03 de Abril de 2019.

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN
DE TESIS PROFESIONAL.**

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente hago constar que el (la) C:

MIRIAM JESICA ZAMORA ANTONIO

pasante de la carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL con No. de Control 142T0427 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el **Manual de Procedimientos para la Obtención del Título Profesional de Licenciatura** bajo la opción **Titulación Integral (Tesis Profesional)**

Por tal motivo se **Autoriza** la impresión del **Tema titulado:**

**“EVALUACIÓN DE DESTILADOR SOLAR PARA USO DE LOS
LABORATORIOS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA”**

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del Acto de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE

ING. GERBACIO TLAXALO ESPINOZA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



Archivo.

La tesis titulada: **“EVALUACIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR PARA USO DE
LOS LABORATORIOS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE
MISANTLA”**

Fue realizada por **MIRIAM JESICA ZAMORA ANTONIO** bajo la dirección del
Comité Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como
requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERO AMBIENTAL

Comité Particular

Codirector de
Tesis

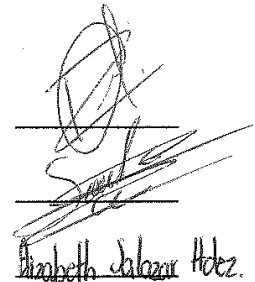
M.C. Alan Antonio Rico Barragán

Asesor

M.C. Yovani López González

Asesor

M.Sc. Elizabeth Salazar Hernández



Handwritten signatures of the committee members, including a large signature for Alan Antonio Rico Barragán and a signature for Elizabeth Salazar Hernández.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme guiado a lo largo de mi carrera, por darme la tenacidad para seguir adelante, así como darme las mejores experiencias, aprendizajes y sobre todo disfrutar de la vida en esta etapa que estoy por terminar.

Le doy gracias a la vida por todas y cada una de las oportunidades que se presentaron en mi camino ya que gracias a ella en este momento puedo expresar todos los conocimientos que he adquirido, de igual manera a todos los seres queridos que me rodean, porque cada uno de ellos jugó un rol muy importante en la decisión de esta gran carrera la cual me hizo crecer en todos los aspectos y creo de mí una persona estable, íntegra, sólida y segura de sí, ya que cualquier reto será llevar a cabo y será fundamentado con la preparación que ella misma me ha dado.

A mi madre quien hace un tiempo se convirtió en el ángel que guía mi camino y mi ejemplo a seguir, por sus consejos, su gran corazón y los gratos recuerdos que quedaron plasmados en mi memoria para toda la vida.

A mi padre por los valores inculcados en mí, de igual manera que en todo momento está conmigo, así como por darme la oportunidad de tener una excelente educación en mi vida y sobre todo por ser mi motor de vida.

A mis hermanos quienes tomaron un rol fundamental en mi vida y un motivante para mi desarrollo profesional, gracias por llenar todos esos momentos de mi vida de amor y alegría cuando más los he necesitado.

A mis profesores e institución, que me han enseñado las herramientas idóneas para desempeñar con profesionalismo mi carrera en esta vida. Al Instituto Tecnológico Superior de Misantla por haberme abierto sus puertas y por permitirme formar parte de la carrera de ingeniería ambiental.

CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| ÍNDICE DE FIGURAS | III |
| ÍNDICE DE TABLAS | V |
| RESUMEN | VI |
| SUMMARY | VII |
| CAPÍTULO I. GENERALIDADES | 1 |
| 1.1 Introducción | 1 |
| 1.2 Problemática | 2 |
| 1.3 Justificación | 2 |
| 1.4 Objetivos | 3 |
| 1.4.1 Objetivo General | 3 |
| 1.4.2 Objetivo Específico | 3 |
| 1.5 Alcances y Limitaciones | 3 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 4 |
| 2.1 Agua | 4 |
| 2.2 Problemática del Agua en el Mundo | 4 |
| 2.3 Energía | 6 |
| 2.3.1 Energía Termoeléctrica | 7 |
| 2.3.2 Energía Solar | 7 |
| 2.3.3 Redición Solar | 8 |
| 2.4 Derivados de la Energía Solar | 8 |
| 2.4.1 Energía Solar Fotovoltaica | 10 |
| 2.4.2 Energía Fototérmica | 10 |
| 2.5 Destilación | 11 |
| 2.5.1 Destilador de Agua | 11 |
| 2.5.2 Teorías de Destilación | 11 |
| 2.5.3 Tipos de Destilación | 11 |
| 2.5.4 Destilador Solar | 14 |
| 2.5.5 Destilador Solar de Una Vertiente | 14 |
| 2.5.6 Destilador Solar de Dos Vertientes | 15 |
| 2.5.7 Destilador Solar de Invernadero | 15 |
| 2.5.8 Destilador Solar de Cascada Destilador | 16 |

| | Página | |
|--------|--|-----------|
| 2.5.9 | Destilador Solar Esférico de Barrera | 17 |
| 2.5.10 | Rendimiento de los Destiladores Solares | 18 |
| 2.5.11 | Situación de la Destilación Solar en el Mundo | 18 |
| 2.6 | Ciclo Hidrológico | 19 |
| 2.7 | Psicrometría | 20 |
| 2.8 | Evaporación | 20 |
| 2.9 | Factores que Influyen en la Evaporación | 21 |
| 2.10 | Temperatura y Cantidad de Calor en la Evaporación | 21 |
| 2.11 | Enfriamiento Evaporativo | 22 |
| | CAPÍTULO III. METODOLOGÍA | 24 |
| 3.1 | Localización del Proyecto | 24 |
| 3.2 | Análisis de Tecnología Actuales | 24 |
| 3.3 | Propuesta del Diseño | 25 |
| 3.4 | Construcción del Destilador | 26 |
| 3.5 | Pruebas Preliminares | 32 |
| 3.6 | Evaluación de la Calidad de Agua | 33 |
| | CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 34 |
| 4.1 | Pruebas de Funcionamiento | 34 |
| 4.1.1 | Evaluación Semanal de Producción de Agua Destilada | 35 |
| 4.1.2 | Evaluación diaria de producción de agua destilada | 37 |
| 4.2 | Análisis de la Calidad de Agua de las Muestras | 50 |
| | CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 53 |
| | CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA | 55 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Fig. | | Página |
|------|------------------------------------|--------|
| 1 | Franja Roja o Cinturón Solar | 9 |
| 2 | Destilador Solar de Una Vertiente | 14 |
| 3 | Destilador Solar de Dos Vertientes | 15 |
| 4 | Destilador Solar de Invernadero | 16 |
| 5 | Destilador Solar de Cascada | 17 |
| 6 | Destilador Solar Esférico | 18 |

| Fig. | | Página |
|------|--|--------|
| 7 | Ciclo Hidrológico | 19 |
| 8 | Diagrama Psicométrico | 20 |
| 9 | Calor Sensible y Calor Latente | 22 |
| 10 | Proceso de Enfriamiento Evaporativo Directo | 23 |
| 11 | Diseño del Destilador Solar | 26 |
| 12 | Caja del Destilador Solar | 26 |
| 13 | Parte 1 del Destilador Solar | 27 |
| 14 | Parte 2 del Destilador Solar | 27 |
| 15 | Unión de las Piezas del Destilador Solar | 28 |
| 16 | Construcción de la Caja del Destilador Solar | 28 |
| 17 | Piezas del Destilador Solar | 29 |
| 18 | Pintado de la Caja del Destilador Solar | 29 |
| 19 | Sellado de Fugas | 30 |
| 20 | Colocación de la Canaleta | 30 |
| 21 | Armado del Destilador Solar | 31 |
| 22 | Perforación del Destilador Solar | 31 |
| 23 | Mapa isogónico de la República México | 32 |
| 24 | Ubicación del Destilador | 33 |
| 25 | Comportamiento Prueba de Funcionamiento 1 | 34 |
| 26 | Comportamiento Prueba de Funcionamiento 2 | 35 |
| 27 | Comportamiento de Semana 2 | 36 |
| 28 | Comportamiento de Semana 1 | 36 |
| 29 | Comportamiento de la Corrida Experimental 1 | 37 |
| 30 | Comportamiento de la Corrida Experimental 2 | 38 |
| 31 | Comportamiento de la Corrida Experimental 3 | 39 |
| 32 | Comportamiento de la Corrida Experimental 4 | 40 |
| 33 | Comportamiento de la Corrida Experimental 5 | 41 |
| 34 | Comportamiento de la Corrida Experimental 6 | 42 |
| 35 | Comportamiento de la Corrida Experimental 7 | 43 |
| 36 | Comportamiento de la Corrida Experimental 8 | 44 |
| 37 | Comportamiento de la Corrida Experimental 9 | 45 |
| 38 | Comportamiento de la Corrida Experimental 10 | 46 |

| Fig. | | Página |
|------|--|--------|
| 39 | Comportamiento de la Corrida Experimental 11 | 47 |
| 40 | Comportamiento de la Corrida Experimental 12 | 48 |
| 41 | Comportamiento de la Corrida Experimental 13 | 49 |
| 42 | Comportamiento de la Corrida Experimental 14 | 50 |
| 43 | Análisis de Pruebas Funcionales | 50 |
| 44 | Análisis de Semana 1 y 2 | 51 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | | Página |
|-------|---|--------|
| 1 | Clasificación del Agua Destilada | 13 |
| 2 | Descriptiva de los Destiladores Solares | 24 |
| 3 | Clasificación de Resultados de Acuerdo a la Norma ASTM 1193: 2001 | 52 |
| 4 | Comparación de Resultados con las Muestras ALL, AG, AGLL y ALQ | 53 |

RESUMEN

En el presente trabajo, se realizó el estudio de la factibilidad de uso de un destilador solar para obtención de agua destilada que se emplea en los laboratorios del Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Estos laboratorios tienen una demanda de 50 galones por semestre, por lo cual se propone obtener este producto de forma natural y a un bajo costo.

En la primera parte del trabajo, se hace referencia a toda la metodología descriptiva analizando específicamente el destilador solar, sus características, técnicas, costo de operación y funcionamiento. Para que este prototipo funcione de acuerdo a las necesidades del instituto, se realizó un cuadro comparativo de los diferentes destiladores, posteriormente se realizó el diseño con las dimensiones propuestas, para la parte de la construcción se usaron los materiales más adecuados y económicos.

Se realizaron pruebas en los meses de Abril y Mayo del año 2018 y se terminaron de realizar las últimas mediciones diarias en el mes de Marzo del 2019, comenzando con las de funcionamiento para verificar posibles fugas, fueron 3 periodos de pruebas el primero fue de semana 1 y 2 evaluando la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) y cantidad de agua destilada (mL), el segundo y tercero cada uno fue de 7 días. Se midió la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de la caja ($^{\circ}\text{C}$), temperatura del enfriamiento y cantidad de agua destilada (mL). Para el análisis de la calidad de agua de las muestras, de igual manera se evaluaron por periodos, los parámetros que se tomaron en cuenta para el estudio CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH y SDT (ppm), sacando el promedio y desviación estándar de los días clasificando con la norma ASTM:1193:2001 y comparando con 4 muestras diferentes, siendo la mejor el agua destilada del periodo 3 con CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) $4,83 \pm 0,83$, pH $7,62 \pm 0,51$ y SDT (ppm) $5,37 \pm 1,18$, así mismo se comparó con otros autores.

SUMMARY

In this work, was conducted a study of the feasibility of using a solar distiller to obtain distilled water to be used in the laboratories of the Instituto Tecnológico Superior de Misantla. These laboratories have a demand of 50 gallons per semester, the reason for why construct a solar distiller. Because of that, solar distiller is a suitable way to obtain this product at a low cost.

In the first part of the work, a reference is made to the entire descriptive methodology analyzing specifically the solar distiller, its technical characteristics and operation costs. In order for the prototype to work according to the needs of the institute, a comparative table of the different types of distillers was done, then the design was made with the proposed dimensions and the construction part took into consideration the most appropriate and economical materials.

The tests were conducted in April and May of 2018, and they were completed in the month of March 2019, beginning with the operation to verify possible leaks, were 3 periods of testing the first was week 1 and 2 evaluating the ambient temperature ($^{\circ}\text{C}$) and amount of distilled water (mL), the second and third each was 7 days, measuring the ambient temperature ($^{\circ}\text{C}$), box temperature ($^{\circ}\text{C}$), cooling temperature and amount of distilled water (mL). For the analysis of the water quality of the samples, the parameters that were taken into account were the EC ($\mu\text{S} / \text{cm}$), pH and TDS (ppm), taking the average and standard deviation of the days classifying with the ASTM standard: 1193: 2001 and compared with 4 different samples, the best was the distilled water of period 3 with EC ($\mu\text{S} / \text{cm}$) 4.83 ± 0.83 , pH $7.62 \pm 0,51$ and TDS (ppm) $5,37 \pm 1,18$, finally, results were compared with those from other authors.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. Introducción

Actualmente, el Instituto Tecnológico Superior de Misantla (ITSM) cuenta con cuatro laboratorios, en los cuales se utiliza agua destilada para la realización de prácticas, elaboración de reactivos y lavado de material.

La falta de un suministro de agua destilada y de buena calidad, hace que actualmente el recurso se compre de manera externa, representando un costo extra para la institución. Debido a lo anterior, existe poca disponibilidad de agua destilada para las prácticas de los estudiantes y se utiliza como sustituto agua de garrafón o del grifo, la cual no cumple con las características necesarias para el laboratorio.

La adquisición de un dispositivo comercial para la destilación de agua en el laboratorio cuesta aproximadamente \$6,000 con una producción de 3 litros por hora, además de un consumo eléctrico. Dicho equipo requiere una fuente de enfriamiento, se consume mucha agua en la operación y es necesario un mantenimiento constante.

La mala calidad del agua utilizada en las prácticas genera que los resultados no sean confiables en la realización de estas, así como en elaboración de soluciones o medios de cultivo donde se requiere un nivel alto de certidumbre o de pureza.

La metodología utilizada consistió en una primera fase de información bibliográfica, acerca de los destiladores, sus características, ventajas y desventajas, posteriormente se llevó a cabo la construcción del prototipo diseñado, para seguir con fase de pruebas preliminares para la evaluación del desempeño del prototipo, finalmente el análisis de los resultados.

1.2. Problemática

Actualmente existe la necesidad de disponer de agua destilada de buena calidad para las pruebas de laboratorio que realizan las carreras de Ing. Ambiental e Ing. Bioquímica, los cuales actualmente utilizan agua de garrafón para elaborar sus reactivos, medios de cultivo y otros usos del área.

Sin embargo, los requerimientos de algunas prácticas son muy rigurosos sobre todo cuando se desea trabajar con normas nacionales y estándares internacionales, dado lo anterior muchas de las ocasiones los resultados obtenidos no representan un nivel de confiabilidad.

1.3. Justificación

Se busca agregar una innovación para favorecer la condensación en el dispositivo de destilación solar, con lo cual se puede incrementar la producción de agua respecto a un dispositivo convencional, para ello es necesario elaborar un análisis térmico incluyendo intercambiador de calor de condensación. Con la construcción de un destilador solar de agua se abastecerá a los laboratorios de ITSM, de agua destilada de buena calidad con ello abatiendo con ello el costo por la compra externa de este recurso; pudiendo utilizar ese dinero en la reparación y mantenimiento de los equipos con los que actualmente cuenta el laboratorio, en la compra de reactivos o en la adquisición de nuevos casilleros para los estudiantes de Ingeniería Ambiental.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar y construir un dispositivo que permita obtener agua destilada para los laboratorios ITSM utilizando energía solar.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Definir qué tipo de tecnología de destilación solar utilizar.
- Hacer el bosquejo de un destilador.
- Crear el prototipo.
- Evaluación experimental de su rendimiento.

1.5. Alcances y Limitaciones

La magnitud de este proyecto es que se logre cumplir con el objetivo de construir un dispositivo que permita obtener agua destilada para los laboratorios del ITSM utilizando la energía solar.

La principal limitación para el uso del destilador solar, es el clima; ya que el uso del prototipo está sujeto a cualquier cambio climatológico que impida el paso de la energía solar afectando su función de destilar el agua.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Agua

El agua es un elemento importante y está formado por moléculas que contienen un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, no contiene ningún tipo de olor, sabor o color y se encuentra en tres fases: sólido, gaseoso y líquido en las cuales ocupa una gran parte de la superficie de la Tierra. Forma los océanos, los ríos y las lluvias, además de ser parte constituyente de todos los organismos vivos. El movimiento del agua en los ecosistemas se origina a través de un ciclo que consiste en la evaporación o transpiración, la precipitación y el desplazamiento hacia el mar. El agua mineral, como su nombre indica, contiene minerales y otras sustancias disueltas, de modo tal que se le agrega un valor terapéutico o se altera el sabor. Este tipo de agua es el que se comercializa envasado en todo el mundo para el consumo humano (Acosta y Martínez, 2010).

Se conoce como agua dulce al agua que contiene una cantidad mínima de sales disueltas (a diferencia del agua de mar, que es salada). A través de un proceso de potabilización, el ser humano logra convertir el agua dulce en agua potable, es decir, apta para el consumo gracias al valor equilibrado de sus minerales. Es importante destacar que la escasez de agua potable en numerosas regiones del planeta genera más de 5 millones de muertes al año. Otros de los factores que afectan la disponibilidad de agua son el desarrollo económico, la urbanización y la contaminación que juegan un papel importante sobre los recursos renovables en todas las regiones áridas y semiáridas (Olmos, 2013).

2.2. Problemática del Agua en el Mundo

Uno de los factores importantes que ha agravado la problemática del agua ha sido el cambio climático; la escasez de agua y la degradación de medio ambiente afectan la mayor parte de mundo y constituyen una de las amenazas para la seguridad y el bienestar de la población. Hay una relación entre la inseguridad alimentaria y la inestabilidad social, esto causa patrones de migración en el mundo. Algunos estudios estiman que para el año 2050 entre 150 y 200 millones

de personas podrían ser desplazadas como consecuencia de eventos como la desertificación, el nivel del mar y el aumento de los fenómenos meteorológicos extremos (Scheffran *et al.*, 2012).

Asumiendo que la naturaleza va de la mano con los recursos hídricos, en algunas regiones se enfrentarán grandes problemas en los próximos años ya que se volverá una competencia, será más difícil satisfacer las demandas con base socioeconómica manteniendo a la vez la integridad del ecosistema y la sostenibilidad del medio ambiente (Zacarías, 2011).

La cantidad de agua que se tiene en el planeta no varía, sin embargo, la forma, el lugar y la calidad sí representa variaciones, gran parte de esta agua dulce se encuentra en las capas polares, glaciares, y acuíferos, sin embargo, no se utilizan para el consumo humano. El agua que puede ser usada es la del escurrimiento superficial de la lluvia (escorrentías pluviales), las cuales se generan a partir del ciclo hidrológico natural. Si se manejara adecuadamente de manera mínima el escurrimiento pluvial en los techos de las casas habitación, comercios e industrias; se tendría una gran cantidad de agua gratuita para uso potable. Cada año se desaprovecha más del 90% del agua de lluvia que podría ser utilizada. Almacenar el agua pluvial permite que el agua sea utilizada para el inodoro, riego de jardines y limpieza de áreas comunes. Según especialistas, del total de lluvia en las ciudades, aproximadamente el 30% se evapora, el 40% se infiltra a los acuíferos, el 20% se pierde en el drenaje y solo el 10 % se capta en un sistema de almacenamiento para aprovecharla en la vivienda. Otro factor determinante del agua de lluvia en la ciudad es que el líquido escurre por las calles generando saturación los de drenajes e inundación (Gaona, 2006).

El agua es indispensable para la vida humana, ya que existe un equilibrio hídrico corporal, definido como la diferencia neta entre la suma de la ingesta de agua más la producción endógena de agua, menos la suma de las pérdidas por los procesos fisiológicos; con una temperatura ambiente moderada y un nivel de actividad moderado, el agua corporal permanece relativamente constante. (McJunkin, 1998).

Los impactos que el recurso hídrico produce en el medio ambiente son sociales y económicos; principalmente por los efectos directos a las tierras que son las que sostienen a la sociedad humana a través de la producción de alimentos, algunos de estos efectos son la erosión, la inundación, deslaves, aumento del nivel de mar así como los cambios en los ciclos biogeoquímicos (Iglesias, 2005).

El crecimiento económico y poblacional son factores determinantes para la gestión de agua, el consumo de agua a través de las actividades humanas, ha incrementado en los últimos años y hace que sea difícil incluirla en modelos económicos así como hidrológicos. Recientemente se han creado un conjunto de herramientas para el análisis de los problemas que han causado los humanos a los ciclos naturales del agua (Boero y Pasqualini, 2017).

A nivel global, la oferta de agua dulce y su consumo son infinitos, lo anterior debido a que el ciclo hidrológico siempre nos brinda más cantidad de este recurso; sin embargo, en muchas regiones no es suficiente y es un recurso escaso por la falta de lluvia de recarga. El reto en estos lugares es la oferta y la demanda, ya que se espera que las extracciones globales de agua aumenten considerablemente a un 55% para el 2050 (Wheeler *et al.*, 2017).

2.3. Energía

Las fuentes de energía se clasifican en tres categorías: la energía primaria; es toda la disponible en nuestro entorno, ejemplo de ello es el petróleo (química), energía solar (radiante) y la energía eólica (movimiento). La secundaria es la que se transforma de las fuentes de energía primaria, por lo regular se usan esas fuentes como usuario final, y la terciaria es la que usamos diariamente ya sea un trabajo o servicio. El ahorro de energía es cualquier conducta que conduzca o resulte en el uso de una menor cantidad de energía y la eficacia energética se refiere al uso de tecnologías que requieren de una menor cantidad de energía para realizar una misma función (López, 2012).

2.3.1. Energía Termoeléctrica

La energía termoeléctrica es aplicada por el humano para la generación de energía, por la construcción de centrales, esta trabaja con un combustible fósil, usa las reacciones exotérmicas a través de la combustión para formar el calor necesario para producir energía, tiene varios procesos que son los siguientes: el combustible fósil se quema para generar vapor en una caldera, este vapor se utiliza a alta presión y temperatura para mover una turbina que es un motor eléctrico, la turbina genera la energía eléctrica requerida, el vapor utilizado que sale de la turbina después de hacer girar tiene que ser condensado y enfriado hasta que se transforme en agua, para condensar el vapor se debe utilizar agua fría y para obtener el agua fría hay dos formas: tomar agua fría de un río y regresarle agua caliente o enfriar el agua que sale del condensador para enfriar esta agua y volverla a utilizar en el condensador. Una de sus desventajas la contaminación que genera (Medellin, 2001).

2.3.2. Energía Solar

Las energías renovables han desarrollado un papel importante para el ser humano debido al desarrollo de tecnologías que ha permitido con el paso del tiempo grandes innovaciones (Mendez , 2005).

La energía solar es aquella que se aprovecha de la radiación solar proveniente del sol que es una fuente inagotable. El sol lleva 5 mil millones de años trasmitiéndola y se calcula que aún no llega al 50 % de su vida. A su vez presenta unas características que la hacen diferente de las fuentes energéticas comunes los cuales son dispersión e intermitencia. El primer paso para el aprovechamiento de la energía solar es su acumulación, aspecto dentro del que se pueden distinguir dos tipos de sistemas: pasivos en el cual no se necesita cierto dispositivo para obtener la energía solar son utilizados los recursos naturales como el sol o viento o activos, este tipo se necesita usar un colector para llevar a cabo la conversión térmica aprovechando el contenido recolectado o bien una conversión eléctrica llamada efecto fotovoltaico (Nandwani, 2005).

2.3.3. Radiación Solar

Existen dos tipos de radiación: directa, es la que se recibe directamente del sol, sin tener alguna dispersión atmosférica y difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. Estas dos componen a la radiación total, que es la suma de las radiaciones directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie (Hernández *et al.*, 2001).

2.4. Derivados de la Energía Solar

La mayoría de sistemas energéticos son derivados de la energía solar. Dentro de las energías renovables, por ejemplo, la energía eólica es la energía obtenida del viento. Mismo que se obtiene del sol al calentar el aire de la superficie genera corrientes de aire. El aire caliente sube y su lugar es ocupado por otra masa de aire que estaba a su alrededor, este movimiento provoca el viento. En el caso de la energía hidráulica, se aprovecha la energía potencial del agua al caer de un sitio elevado para accionar unas turbinas, esto sucede cuando el sol al calentar el agua, esta se evapora formando las nubes. Una vez se condense el agua volverá a caer para alimentar ríos y pantanos y volver a accionar las turbinas (Varon, 2009).

Los recursos renovables son abundantes en el mundo, para ello tenemos muchos ejemplos, energía eólica, térmica, fotovoltaica y geotérmica. La energía solar es electromagnética emitida por las estrellas, el sol que se relaciona con la materia de energía es transformada, existente muchos mecanismos naturales que transforma la energía solar, estos mecanismos son físicos, los químicos y los biológicos. La energía solar tiene un potencial que irradia a la tierra diariamente de 6,5 KWh/m, es decir que la energía solar recibida cada 10 días en la tierra equivale a todas las reservas que ya conocemos de petróleo, carbono y gas (Castro, 2010).

La Fig.1, muestra disposición de energía solar en la tierra en términos de insolación diaria promedio anual en kilowatt hora por m² (kWh/m²) por año. Los paralelos 40N Y 35S son conocidos como la “franja solar o cinturón solar” que

tiene la capacidad de albergar 70% de la población mundial y recibir la mayor cantidad de energía solar en el mundo (Estrada, 2013).

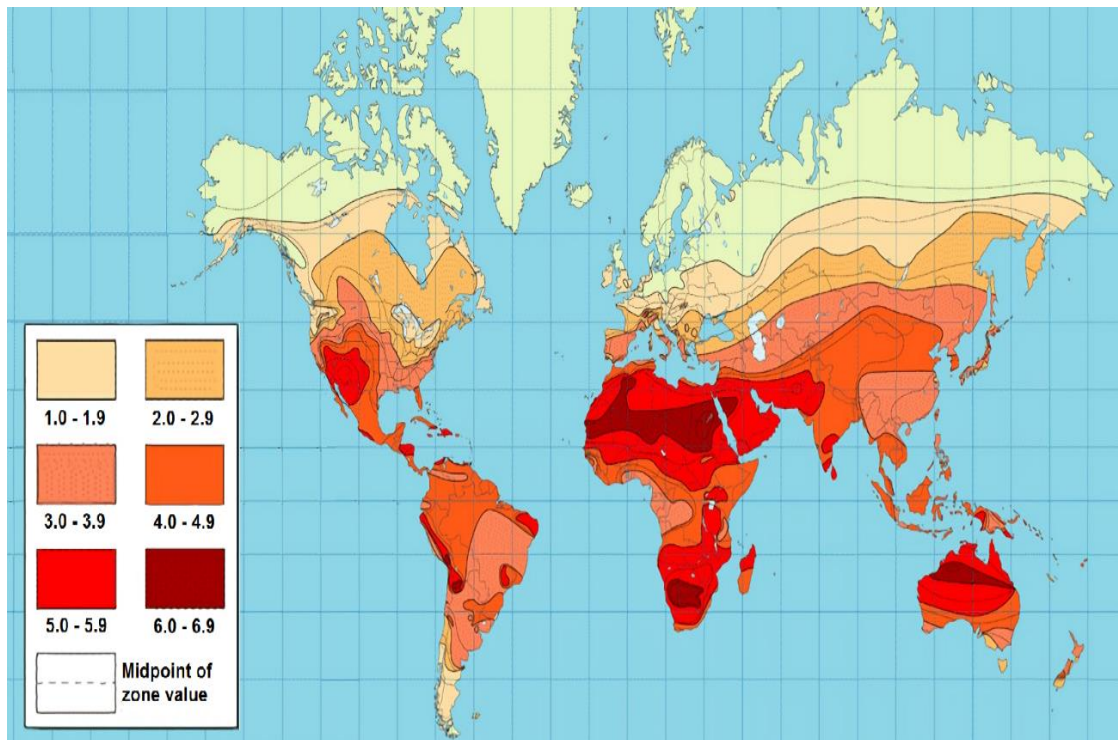


Fig. 1. Franja Roja o Cinturón Solar.

Uno de los países que está dentro de la franja solar es México, son alrededor de tres cuartas partes donde se cuenta con zonas con una insolación media de los 5 kWh/m² al día, esto es el doble promedio en los Estados Unidos América (EUA). Mientras que las zonas de noroeste del país chihuahua, sonora y baja california tiene el recurso más abundante que excede a los 6 kW/m² al día (Gasca, 2013).

Las ventajas de esta energía son varias: no contamina, es limpia como la energía nuclear ya que no son basadas en combustible fósiles, es una fuente inagotable se trata de energía renovable dado que proviene del sol, por lo cual no se acabará y el único costo es la inversión inicial. Las desventajas para su implementación son que se deben usar grandes extensiones de terreno, así como también una gran inversión al inicio y no abastecer un gran número de habitantes (Kuyper, 2014).

4.1.1 Energía Fotovoltaica

La energía fotovoltaica es una energía renovable, inagotable y se puede consumir donde se produce (Méndez y Cuervo, 2007).

La corriente eléctrica es un flujo de electrones que se genera al establecer una diferencia de potencial eléctrico. Los materiales están llenos de electrones. Los átomos de los materiales están formados por núcleos con cargas positivas y por negativas. En ciertos materiales es muy fácil hacer circular una corriente eléctrica. Para obtenerla se deben cumplir tres pasos; modificar el número de carga positiva y negativa, crear cargas que permita la aparición de una corriente y tercero establecer una diferencia de potencial o campo eléctrico (Rivera, 2018).

4.1.2 Energía Térmica

El almacenamiento de calor de sorción es energía térmica durante períodos de tiempo prolongados, con las tecnologías de almacenamiento convencionales. Se realiza una comparación de rendimiento en términos de densidad de energía y costos de capacidad de almacenamiento de los diferentes conceptos del sistema utilizados para el almacenamiento estacional del calor, estas son las tres categorías: la primera es acumulamiento de calor sensible es diferente de temperatura para aplicar a un medio para almacenar energía, en la segunda, el almacenamiento de calor latente explora la entalpía de cambio de fase del medio y en la tercera, el almacenamiento de calor hace uso de la entalpía de reacción implicada en una reacción típicamente reversible, tiene la mayor densidad de energía teórica, categorías de almacenamiento de calor, y las pérdidas de calor pueden ser, en principio, insignificantes. Esto, a su vez, puede resultar en un sistema más compacto, lo que hace que esta tecnología sea propensa a ser utilizada para almacenar grandes cantidades de energía durante un período relativamente largo (Scapino y Zondagb, 2017).

2.5. Destilación

La destilación es una práctica de separación de sustancias que permite separar los diferentes componentes de una mezcla. Esta técnica se basa fundamentalmente en los puntos de ebullición de cada uno de los componentes de la mezcla. Cuanto mayor sea la contradicción entre los puntos de ebullición de las sustancias de la mezcla, más eficaz será la separación de sus componentes; es decir, los elementos se obtendrán con un mayor grado de pureza (Kaushal , 2010).

2.5.1. Destilación del Agua

El agua es indispensable para la humanidad, y es básica para el correcto funcionamiento de todo el organismo humano. Por esto, recomiendan beber 2 litros diarios. La naturaleza está diseñada para purificar y reciclar este vital elemento a través del ciclo del agua. El Sol calienta el agua, esta se evapora en forma de agua pura (H₂O) y es precipitada otra vez a la tierra. Lo ideal es acumular el agua inmediatamente. Se sabe que el agua es de mejor calidad es la de nacimiento de los ríos que en la desembocadura debido a que mientras corre va almacenando toda clase de residuos. Por desgracia nuestro sistema de vida no nos permite recoger este agua pura una vez se deposita en el suelo (Fuentes, 1997).

2.5.2. Teoría de Destilación

Es un proceso en el cual fundamenta que se calienta un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, enfriar el vapor para recobra dichos mecanismos en forma líquida por medio de la condensación (Carrillo, 2007).

2.5.3. Tipos de Destilación

Destilación fraccionada: si se consigue que una parte del destilado vuelva del condensador y escurra por aplazamiento de columna a una cadena de placas, y

que al mismo tiempo el vapor que se envía al condensador hierva, en el líquido de esas placas, el vapor y el líquido interaccionarán de forma que parte del agua del vapor se condensará y parte del alcohol del líquido se evaporará. Así pues, la interacción en cada placa es equivalente a una re destilación, y construyendo una columna con bastante número de placas, se puede obtener alcohol de 95% en una operación individual (Barderas, 2018).

Destilación al vapor: es la mezcla de dos líquidos que se acoplan bien a cierta temperatura, se evaporan en un grado determinado solamente por su propia volatilidad. Por lo tanto, un compuesto hierve a una temperatura menor y se recoge la destilación de cada componente por separado. El vapor influye en su presión a esa temperatura (Ramirez, 2002).

Destilación destructiva: un compuesto que se calienta a una temperatura muy alta, provoca que se descomponga en varios subproductos, una de aplicaciones más interesantes son el carbón, gas y el amoníaco. El petróleo es un ejemplo de compuesto obtenido por destilación destructiva (Resort y Greece, 2008).

Se tienen diferentes instituciones que evalúan el grado de calidad del agua destilada un ejemplo de una de ella es Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM 1193: 2001), donde se menciona los 4 diferentes tipos de destilación de agua:

Tipo I: Son de partículas sólidas, sus impurezas están constituidas principalmente por iones disueltos. Se emplea en aquellos análisis que requieren máxima exactitud y precisión y necesitan agua con características muy exigente en cuanto a pureza.

Tipo II: Agua con presencia de partículas y coloides suspendidos. Puede ser empleada en aquellos análisis que necesitan unas cantidades mínimas de disolvente y que no requiere agua con características tan estrictas como la de Grado 1.

Tipo III: Apropriada para la mayoría de los procesos llevados a cabo en los laboratorios químicos y la preparación de disoluciones de reactivos. No reúne unas características específicas y solo requiere un grado mínimo de calidad, se emplea también para enjuagues y lavados.

Tipo IV: Sirve para la preparación de soluciones y para el lavado o enjuague de cristalería.

Se muestran las características fisicoquímicas (Tabla 1) especificaciones para clasificar el tipo de agua destilada (ASTM 1193, 2001).

Tabla 1. Clasificación del Agua Destilada

| Parámetros Fisicoquímicos | Tipo I | Tipo II | Tipo III | Tipo IV |
|--|---------------|----------------|-----------------|----------------|
| Conductividad eléctrica valor máximo a 25 (°C) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 0,056 | 1,0 | 0,25 | 5,0 |
| Resistividad mínima a 25 (°C) ($\text{M}\Omega$) | 18 | 1,0 | 4,0 | 0,2 |
| pH a 25 (°C) | 5,0 a 8,0 | 5,0 a 8,0 | 5,0 a 8,0 | 5,0 a 8,0 |
| Carbono Orgánico Total (COT) valor máximo (mg/L) | 50 | 50 | 200 | NL |
| Sodio valor máximo ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 1 | 5 | 10 | 50 |
| Cloruros valor máximo (mg/L) | 1 | 5 | 10 | 50 |
| Sílice Total valor máximo ($\mu\text{g}/\text{L}$) | 3 | 3 | 500 | NL |

NL: No presenta

Los costos de este tipo de tecnología para el año 2030 se estima que rondan entre 12.6 y 60.29 por litro considerando producción, electricidad y transporte. Por ello se superan las limitaciones de suministro del recurso de manera sostenible y económica (Caldera y Bogdanovb, 2016).

2.5.4. Destilación Solar

Los destiladores solares son una técnica en la cual se aprovecha la captación de energía solar purificando el agua con base en las etapas del ciclo hidrológico de evaporación y condensación por medio del efecto invernadero, debido a que el agua fruto del destilado se purifica queda independiente de las sales, bacterias, hongos y virus; lo cual la hace apta para el consumo humano. Este proceso depende de la radiación solar, velocidad del viento, temperatura exterior e interior (Zayas y del Valle, 2018).

2.5.5. Destilador Solar de Una Vertiente

Este modelo consiste en una estructura sencilla (Fig.2), que consta de una caja cubierta por un cristal inclinado. La caja está dividida en dos partes: una con el fondo color negro donde se coloca el agua a evaporar y esta es la que ocupa mayor parte la caja y la otra es donde se recolecta el agua destilada y que se encuentra en el lado de menor altura. También se les llama “células solares destiladores” ya que algunos están diseñados para ampliar la instalación de manera modular (Rusconi y Salvador, 2006).

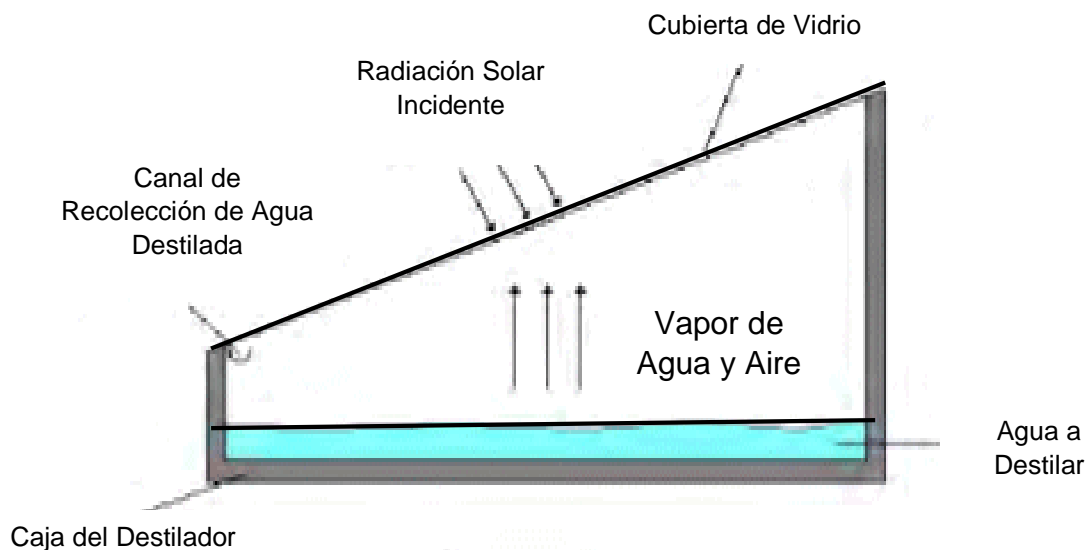


Fig. 2. Destilador Solar de Una Vertiente (Huezo y Moran, 2012)

2.5.6. Destilador de Dos Vertientes

Este modelo consiste de un tejado de material transparente de dos vertientes (fig.3), se observa que las gotas de agua que se condensan en el panel transparente se deslizan por los lados y precipitan a un depósito situado bajo la bandeja donde se dispone el agua para ser destilada, desde el depósito de almacenamiento se extrae el agua por medio de un grifo (Luque *et al.*, 2015).

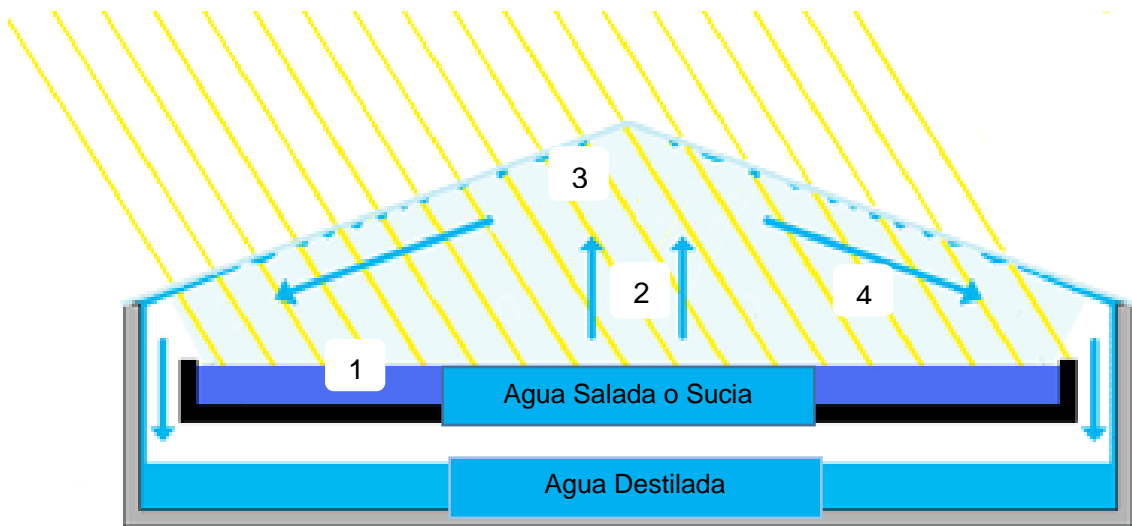


Fig. 3. Destilador Solar de Dos Vertientes (Rojas, 2015).

2.5.7. Destilador Solar de Invernadero

Este es un modelo de destilador solar de un tamaño más grande (fig.4), su estructura de invernadero consiste en que su interior alberga un estanque de agua de poca profundidad y con el fondo de color negro. El agua evaporada se condensa en las paredes del invernadero y se desliza hacia los receptáculos situados en la base de las paredes, es similar al destilador de dos vertientes (Kalpesh, 2017).

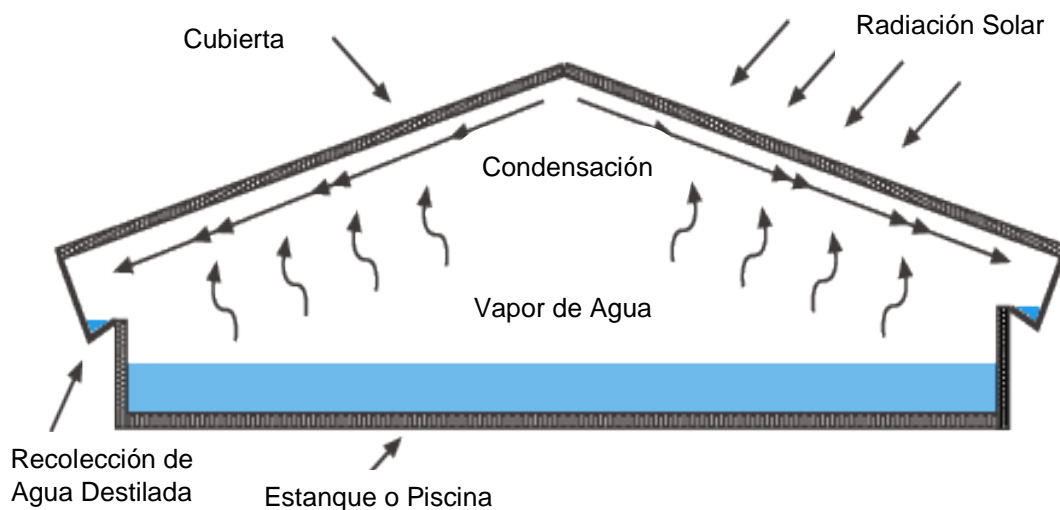


Fig. 4. Destilador Solar de Invernadero (Albán, 2006).

2.5.8. Destilador Solar de Cascada

La descripción de este diseño es de forma de una terraza como se muestra en la (fig.5), en la parte superior de cada una de los techos se encuentran los estanques con base de color negro ocupados de agua para destilar. La radiación solar incide en el agua a destilar e inicia la evaporación, el agua en estado gaseoso se condensa en una superficie transparente dispuesta de forma inclinada sobre las terrazas y se desliza hacia el receptor situado en parte del destilador. En estos procesos se deja fluir el agua desde una cañería en la parte superior provocando el efecto cascada conforme esta se desliza por las terrazas. En la base del destilador hay un desagüe para recoger todos los residuos dejados por el agua que se evapora (Ferreiro, 2015).

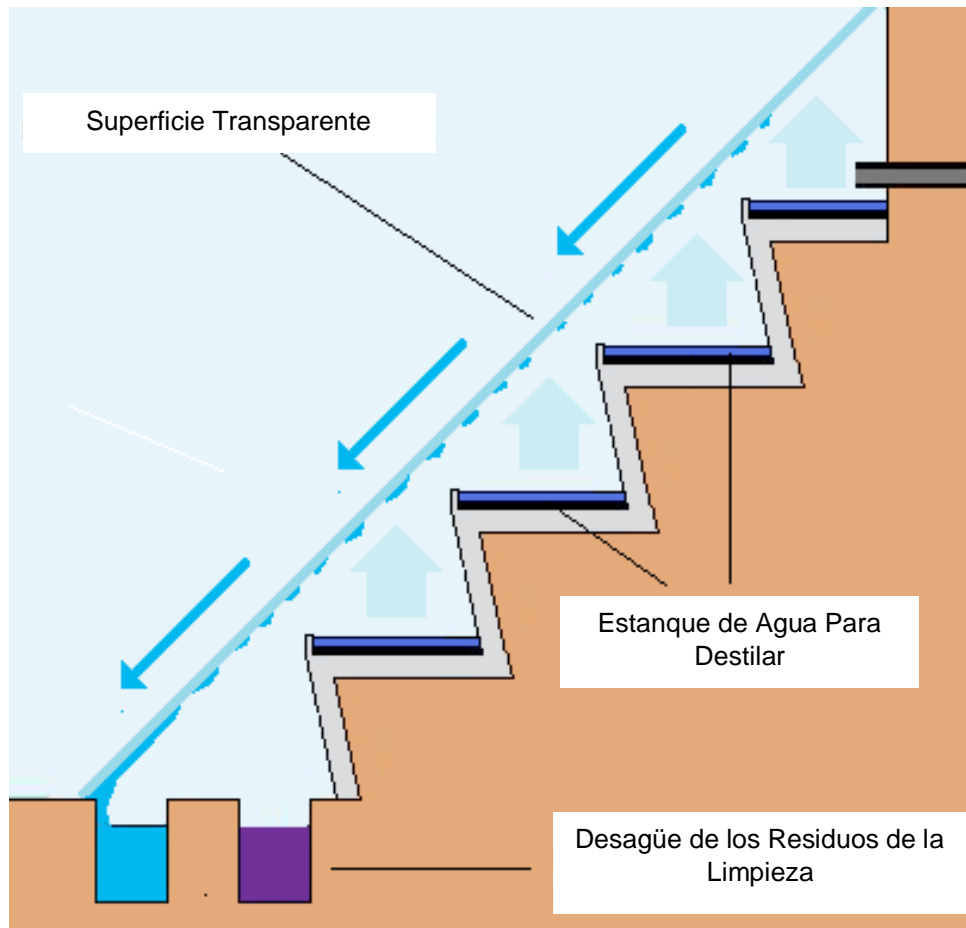


Fig.5. Destilador Solar de Cascada (Ferreiro , 2015).

2.5.9. Destilador Solar Esférico de Barrera

Su forma circular está conformada por materiales visibles (fig.6), está constituido por unas barreras internas con un motor pequeño, como base tiene una bandeja color oscuro que está ubicada en la parte central de la esfera donde se acumula el agua destilada. Por su forma aprovecha la radiación sin que tenga alguna sombra. Su funcionamiento es que la parte de la barrera arrastra las pequeñas gotas que se van formando en el interior de la esfera juntándolas y provocando que se precipitan por gravedad a la parte baja donde se acumula.

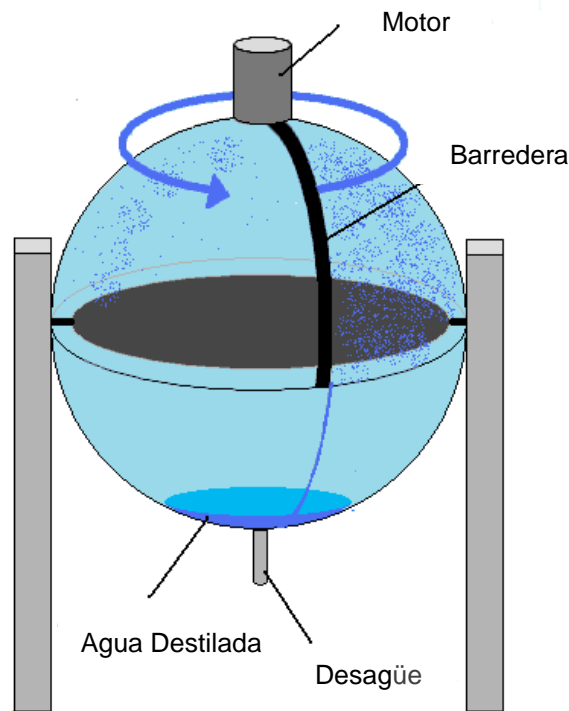


Fig. 6. Destilador Solar Esférico (Rusconi , 2015).

2.5.10. Rendimiento de los Destiladores Solares

La producción de los destiladores solares tiene que ver con el potencial de la radiación solar, la temperatura ambiente, el diseño y las medidas de destilador. Es en las regiones soleadas y cálidas donde se ofrecen mejores condiciones para la destilación solar que en las regiones frías y húmedas. En general los porcentajes de aprovechamiento útil de la energía solar es de 25 y 50 % para los modelos descritos, este valor equivale entre 3 y 5 litros diarios por metro cuadrado de destilado en días soleados (Carrera, 2015).

2.5.11. Situación de la Destilación Solar en el Mundo

El primer país que manejó la energía solar fue Chile para las industrias fue en el año 1872, se construyó la primera planta desalinizadora solar del mundo, esto es un proceso de destilación, tipo box tiene una gran capacidad de 15,500m³ que generó 22,700 litros de agua dulce por día y su vida útil fue de 40 años. En México se han llevado a cabo diversos proyectos rurales, especialmente de comunidades de zonas fronterizas entre México y Estados Unidos que carecen

del servicio de agua potable, en estas zonas se implementan destiladores solares, que han tenido grandes beneficios (Álvarez *et al.*, 2007).

2.6. Ciclo Hidrológico

En la naturaleza encontramos como se muestra en la (fig.7), los estados del agua, gas, líquido y sólido. La forma gaseosa es la que halla en la atmosfera, así como también en forma gaseosa transparente se encuentra la humedad. Un ejemplo muy común de eso son las nubes que son la forma visible cuando el gas esta condensado en pequeñas partículas, así desvían los rayos de luz en todas las direcciones cristalizando el agua en forma de nube, lo cual aumenta adhesiones el peso crece y caen dichas partículas en forma de lluvia, nieve o granizo. Esto hace que el agua se evapore para su propia vegetación, causa que el suelo de agua líquida, lo humedece y en grandes cantidades llega a almacenarlo hasta que comienza a escurrir por la superficie del terreno, pero depende del tipo del terreno, de la humedad del aire, la presión atmosférica, la temperatura y del agua puede evaporarse regresar a la atmósfera (Oñate, 2017).

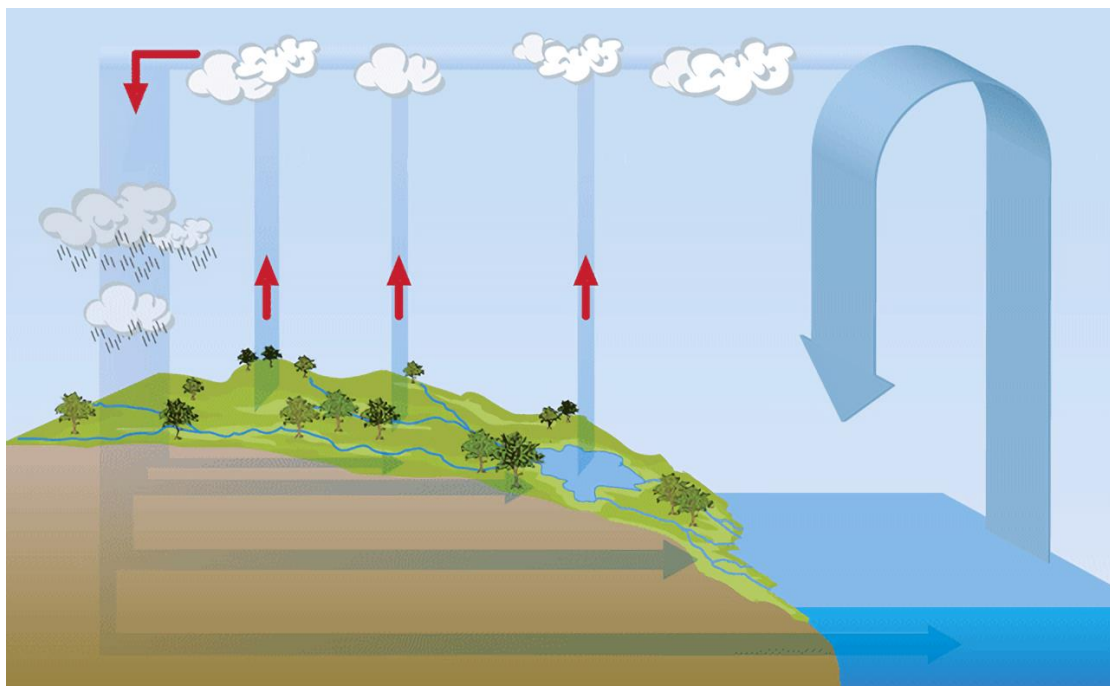


Fig. 7. Ciclo Hidrológico (Oñate, 2017).

2.7. Psicrometría

Se relaciona con la termodinámica del aire húmedo que está formado por la composición de aire seco y vapor de agua, están compuesto por nitrógeno 77%, oxígeno 22%, dióxido de carbono y otros gases 1%. Si al bajar la temperatura, la cantidad de vapor de agua, disminuye y al incrementar la temperatura a mayor cantidad de vapor de agua, se mantiene esta presión atmosférica constante, también se conoce que es un procedimiento para controlar las propiedades térmicas del aire húmedo. En la siguiente (fig.8), se representa un diagrama psicrométrico (Fernández y Antonio, 2012).

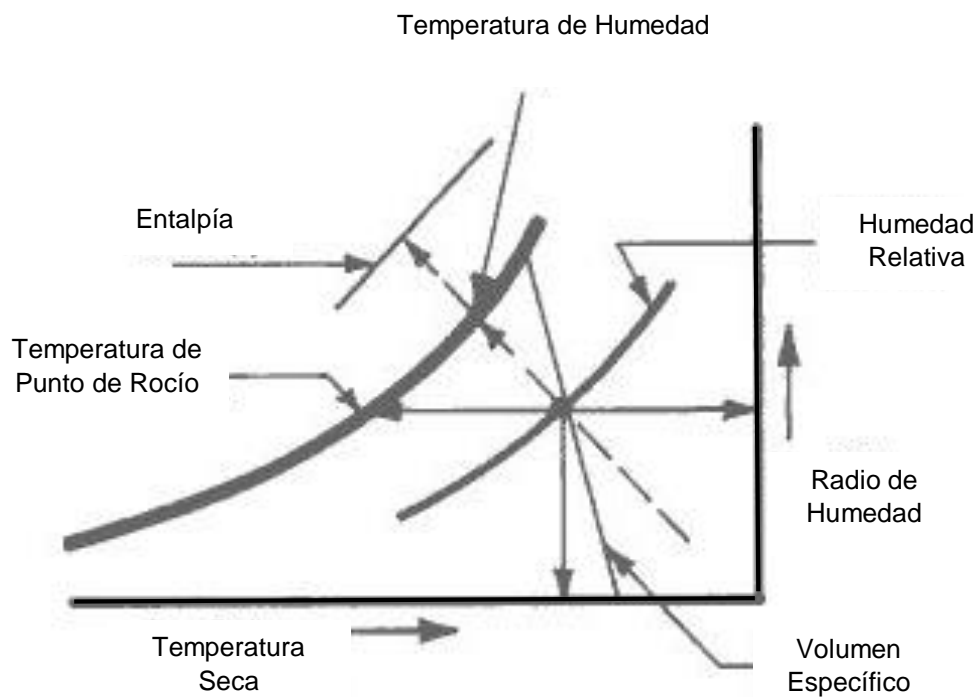


Fig. 8. Diagrama Psicrométrico (Fernández y Antonio, 2012).

2.8. Evaporación

Consiste en que los átomos en estado líquidos forman gases. Es el proceso contrario de la condensación y la evaporación, puede verse por la desaparición gradual del líquido cuando se presenta a un volumen muy alto de gas. Por

término medio, las moléculas no tienen suficiente energía para salir del líquido, porque de lo contrario el líquido se convertiría en vapor rápidamente. Cuando las moléculas chocan, se transportan la energía de una a otra según el modo en que chocan (González *et al.*, 2010).

2.9. Factores que Influyen en la Evaporación

Uno de los factores fundamentales como fuente de energía es la radiación solar, que se genera durante el día o insolación. La cantidad de agua que se puede evaporar depende de la cantidad de energía disponible para el cambio de estado. Este proceso depende de acelerar la humedad baja, calor (del sol) y viento. Un ejemplo común es un secador de ropa, donde se hace pasar aire caliente por las prendas, permitiendo que el agua se evapore muy rápidamente (Fernando, 2013).

2.10. Temperatura y Cantidad de Calor en la Evaporación.

Cuando la temperatura incrementa en la evaporación se denomina calor sensible debido a que hay cambios dentro del sistema, cambiando su estado a vapor, ahí el calor latente es absorbido por el cuerpo, cuando éste se transforma completamente en vapor, se le agrega más calor, subiendo nuevamente la temperatura que estaba constante durante el cambio de estado. El calor latente, cualquiera que sea, se mantiene oculto, pero existe aunque no se manifieste un incremento en la temperatura, ya que mientras dure la función o la evaporación de la sustancia no se registrará variación de la misma. En la (fig. 9) se comprueba que todas las zonas de calor sensible corresponden a un aumento de temperatura, mientras que las de calor latente mantienen una temperatura uniforme que producen un cambio de estado (Rojas y Giovanni, 2015).

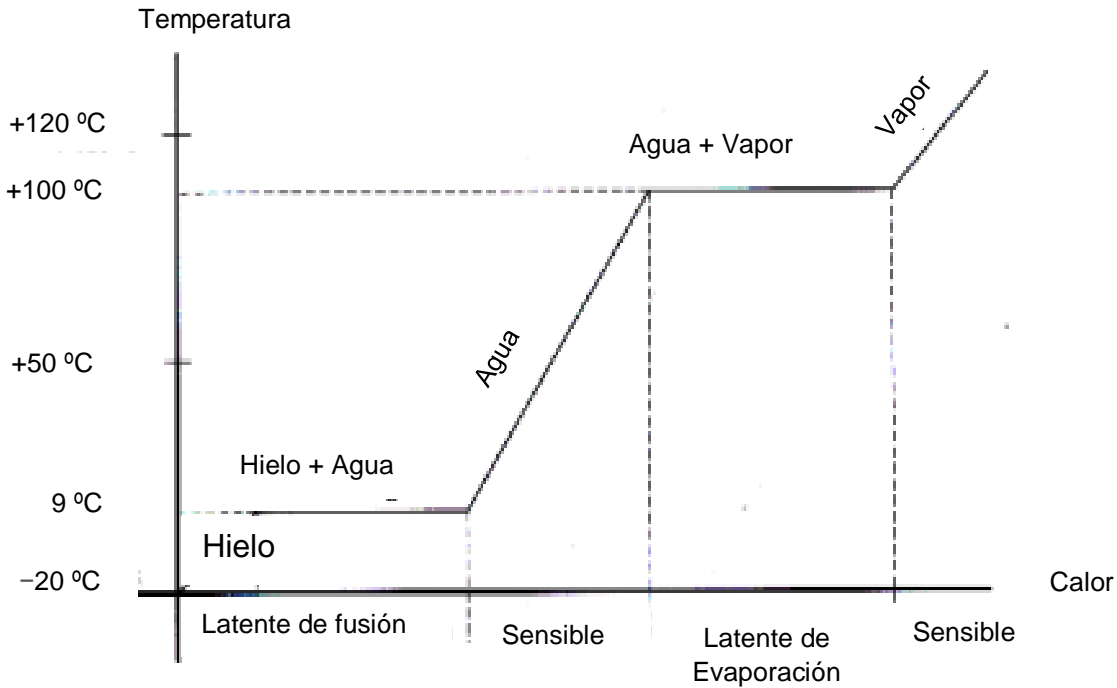


Fig. 9. Calor Sensible y Calor Latente (Rojas y Giovanni, 2015).

2.11. Enfriamiento Evaporativo

Está conformado por tres grupos que son enfriamiento directo que es el aumento de humedad del aire, el indirecto que se transforma su contenido de humedad y mixto es la combinación del directo e indirecto. Se han realizado simulaciones de enfriamientos evaporativos directos, en la que una corriente de aire es enfriada por evaporación del agua, como se muestra en la siguiente (fig. 10), la adición de vapor de agua aumenta el calor latente de la mezcla de agua-vapor, el calor sensible del aire se reduce y la temperatura disminuye (proceso adiabático) en el proceso de enfriamiento, la temperatura se mantiene constante con lo cual el máximo enfriamiento se logra cuando el aire sale saturado con la temperatura de bulbo seco más baja para obtenerse a la salida de un enfriador directo es igual a la temperatura del aire húmedo (Flores y Lesino, 2006).

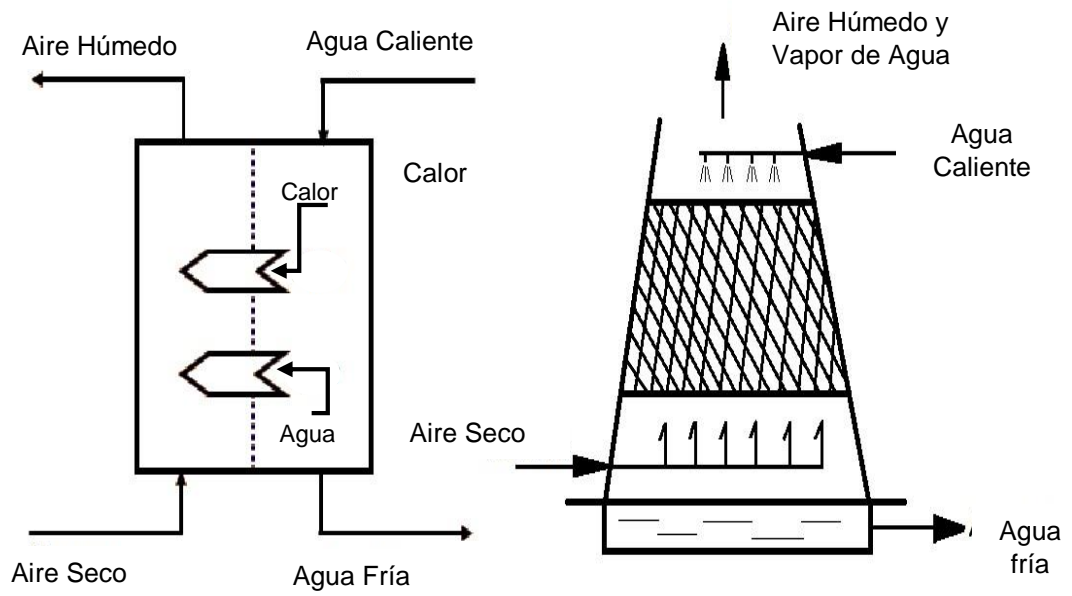


Fig.10. Proceso de Enfriamiento Evaporativo Directo (Flores y Lesino, 2006).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización de Proyecto

El área de pruebas se localizó en dos de los laboratorios del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, el primero en el Laboratorio de Química (LQ), el segundo es el Laboratorio de Servicios Especializados en Aguas (LabSEA).

La localización geográfica de los laboratorios se encuentra en los 19.9502691 grados Latitud Norte y 96.8438865 grados Longitud Oeste, a 270 metros sobre el nivel del mar, existiendo en los alrededores bosque caducifolio nativo, la precipitación anual de aproximadamente 1862 mm, por lo anterior, la humedad relativa se puede percibir en un promedio de 76 %.

3.2 Análisis de Tecnologías Actuales

Se realizó un cuadro comparativo para definir qué tipo de tecnología es mejor, teniendo en cuenta diferentes criterios de evaluación: el costo, la facilidad de construcción, rendimiento, aprovechamiento de energía solar, energía auxiliar, dispositivos de enfriamiento y materiales (Tabla 1).

Tabla 2: Descriptiva de los Destiladores Solares.

| Tipo de destilador | Ventajas | Desventajas | Costo y tiempo de construcción. |
|-------------------------------|--|--|--|
| Destilador de una vertiente. | Modelo de destilador más sencillo de estructura, bajo costo, eficiencia de producción. | Difícil mover por su peso. | de \$1500 por su 1 día |
| Destilador de dos vertientes. | Inversiones bajas, grandes volumen y diseño fácil. | Baja eficiencia requiere grandes espacios. | \$2000 2 semanas |

| Tipo de destilador | Ventajas | Desventajas | Costo y tiempo de construcción. |
|---------------------------|---|--|--|
| Destilador de cascada. | Diseño moderno de alta eficiencia, requiere menor espacio y las recargas son más continuas. | Inversión alta y requiere mayor mano de obra y detalles. | \$2500 3 semanas |
| Destilador esférico. | Alta eficiencia y calidad del producto. | Alto costo de construcción | \$3500 3 semanas |

De acuerdo a los resultados de la investigación, se procedió a utilizar la tecnología de una vertiente por la facilidad de construcción, su bajo costo, lo que reduce la incrustación y acumulación de basura y no tiene pérdidas. Además, fue posible integrarle la innovación de enfriamiento indirecto o pasivo.

3.3 Propuesta de Diseño

Para el diseño del destilador solar, se hicieron algunos cálculos dimensionales. La ecuación 1 fue utilizada con la finalidad de establecer el ángulo del desnivel del destilador solar

$$\sec^{-1} \frac{23}{49} = 19^\circ \dots \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

Con el resultado obtenido, se realizó el prototipo mediante el software SketchUp™. El primer diseño desarrollado corresponde al de la parte superior del destilador, el cual incluye el proceso de enfriamiento pasivo (Fig. 11). Las medidas propuestas fueron 120 cm y 23 cm de largo y ancho respectivamente, mientras que la pendiente se consideró con una medida 49 cm, los laterales de alto 27 cm y ancho 64 cm.

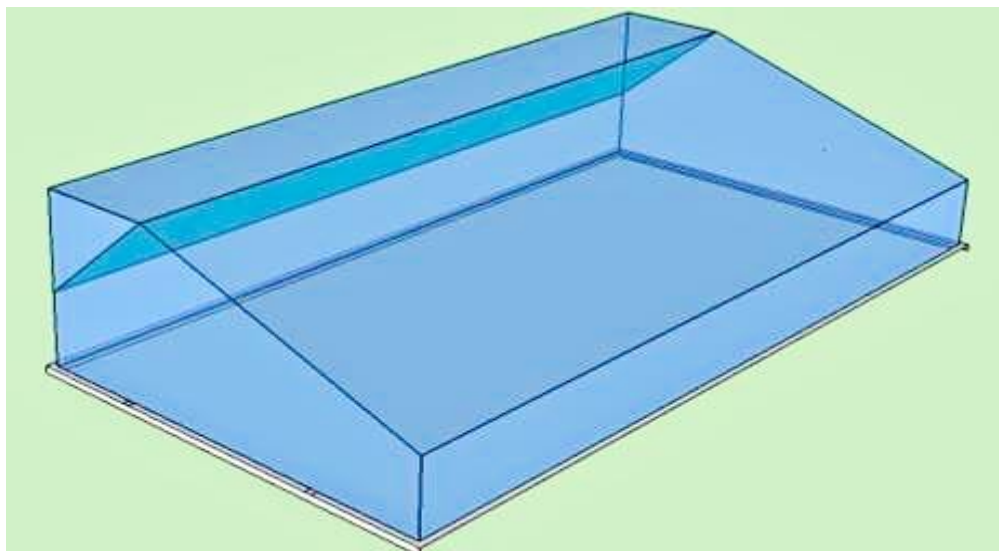


Fig. 11. Diseño del Destilador Solar.

La parte del destilador solar, donde se almacena el agua, la cual posteriormente será destilada, presentó las dimensiones de 120 cm y 70 cm de largo y ancho respectivamente, con una altura de 12 cm (Fig. 12).

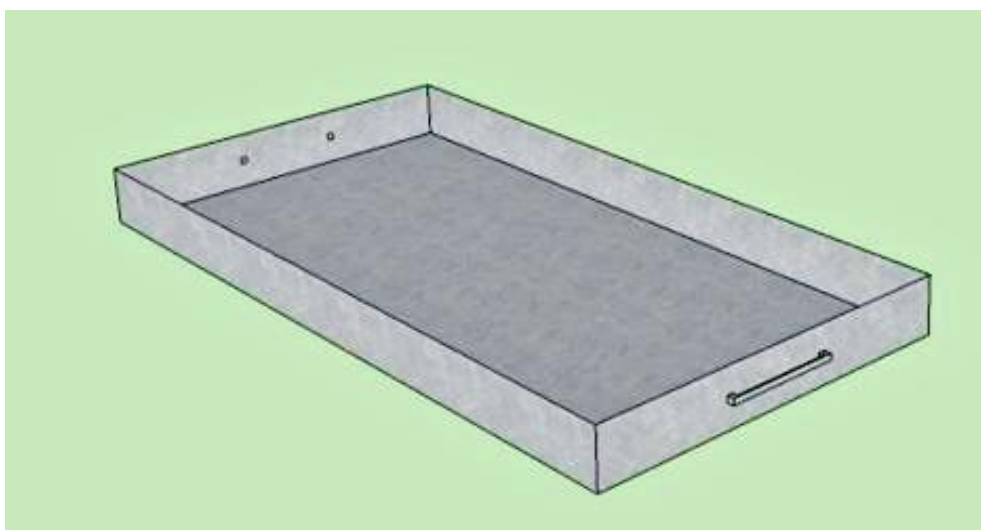


Fig.12. Caja del Destilador Solar.

3.4 Construcción del Destilador

Se cortó la pieza rectangular del vidrio, la cual corresponde al enfriamiento, la pieza cuenta con las siguientes medidas de 120 cm de largo y de ancho 27 cm (Fig.13).



Fig.13. Parte 1 del Destilador Solar.

Se dibujaron y cortaron las partes laterales del destilador solar con las medidas de 62 cm de largo con una pendiente de 49 cm (Fig.14).



Fig. 14. Parte 2 del Destilador Solar

La parte de la pendiente del vidrio fue de 120 cm y 49 cm con la finalidad de obtener una mayor radiación solar (Fig.15).

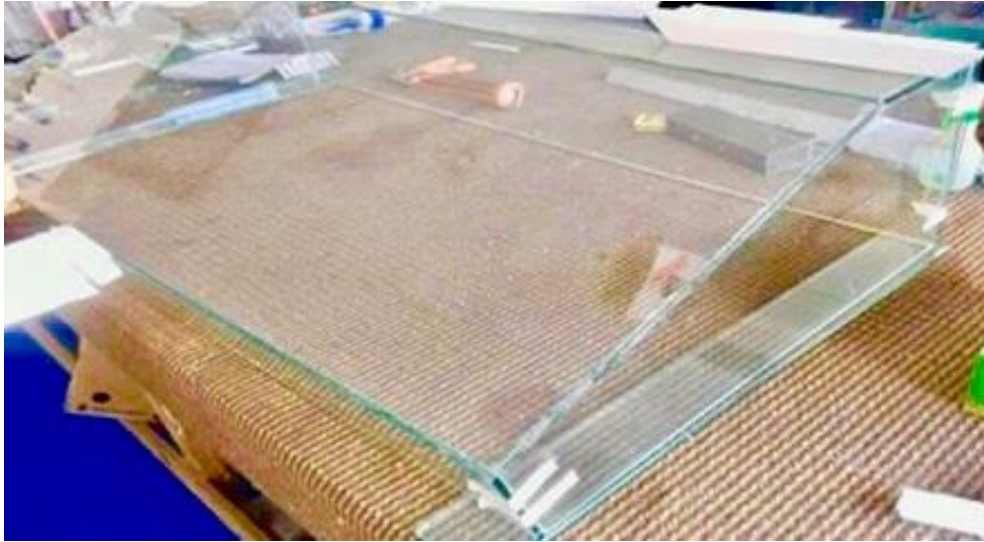


Fig.15. Unión de las Piezas del Destilador Solar.

La bandeja que sirve como base se hizo de lámina galvanizada, con las siguientes medidas: 170 cm x 50 cm de largo y ancho, con una altura de 12 cm. Estas piezas tendrán orificios en uno de los extremos para conectarles manguera y así depositar el agua obtenida en el día en recipientes (Fig.16).



Fig.16. Construcción de la Caja del Destilador Solar.

Se realizó una estructura de fierro de 1 pulg, con la finalidad de sostener las dos piezas del destilador con las mismas medidas de la caja (Fig. 17).



Fig. 17. Base del Destilador Solar.

Posteriormente, para que el secado fuera más rápido se cubrió la bandeja con pintura en aerosol, seleccionando un color negro con la finalidad de lograr un incremento rápido de temperatura dentro de caja. (Fig. 18).



Fig. 18. Pintado de la Caja del Destilador Solar.

Después se utilizó silicón industrial, para sellar todas las posibles fugas que tenía la parte del enfriamiento y así no afectara la producción del destilado (Fig. 19).

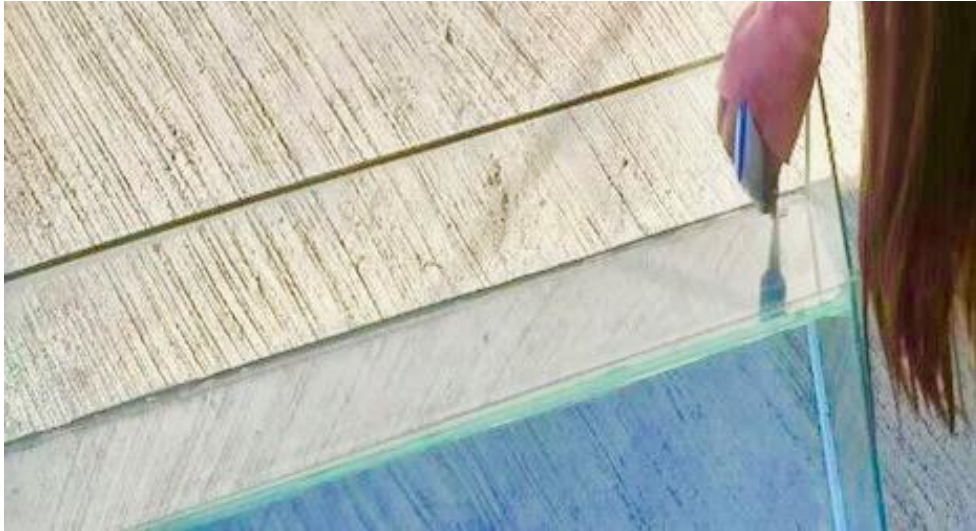


Fig. 19. Sellado Fugas.

Se colocó la canaleta de aluminio de $\frac{1}{2}$ pulgada para poder recolectar el agua destilada, esta va en la parte interior en dirección al enfriamiento con un desnivel como se muestra en la Fig. 20.



Fig. 20. Colocación de la Canaleta.

Se montó la estructura de vidrio sobre el soporte, buscando que estuviera la base de vidrio a la misma distancia de las orillas del soporte, con la finalidad de continuar con las actividades posteriores (Fig. 21).



Fig. 21. Unión de Caja y Destilador.

El siguiente paso, fue el realizar una perforación de 1 pulg al lado derecho del soporte con el objetivo de conectar la manguera de la canaleta, además dicho orificio se utilizó para evitar que al aumentar el nivel del agua dentro de la caja afecte al destilado (Fig. 22).



Fig.22. Perforación del Destilador Solar.

3.5 Pruebas Preliminares

Para un correcto funcionamiento del destilador, el lugar idóneo es aquel donde exista radiación solar y esté a resguardo de vientos fuertes. Conviene que la superficie sobre la que se coloque el destilador se encuentre nivelado.

Para determinar la posición exacta del destilador para una máxima captación de la radiación solar, es necesario orientar el dispositivo hacia el sur geográfico, este difiere algunos grados respecto al sur magnético y para ello es necesario utilizar un mapa isogónico; en el que se muestra la desviación en grados del sur Geográfico respecto al magnético. En la (Fig. 23) se muestra el mapa isogónico para la República Mexicana, como es de observarse para la ubicación de Misantla en el mapa le corresponden 6° al este.

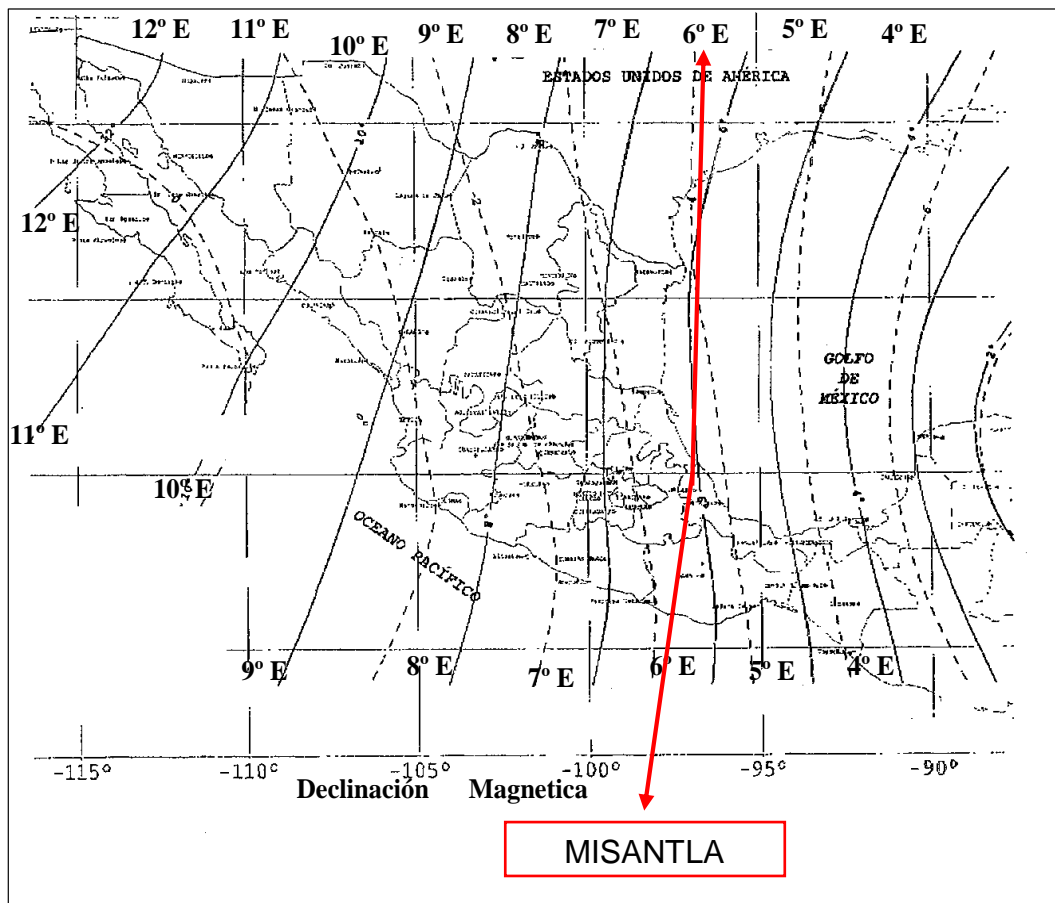


Fig. 23. Mapa Isogónico (Casas, 2003).

Se fue ubicando el destilador solar por medio de una brújula a los 6° que indicó el mapa isogónico. Así mismo se marcó una línea la cual nos orientó con precisión, al finalizar lo anterior, se instaló el destilador (Fig.24).



Fig. 24. Ubicación de Destilador Solar.

3.6 Evaluación de Análisis de la Calidad de Agua

Para determinar la calidad del agua destilada se tomaron en cuenta los siguientes parámetros físicos: sólidos disueltos totales, pH y conductividad eléctrica; los cuales fueron medidos con un dispositivo paramétrico Hanna™ HI98129. Se evaluaron en los meses de abril y mayo del año 2018, terminando las últimas pruebas en el mes de marzo del 2019, midiendo cada hora, en un lapso de 8 horas continuas.

Se evaluaron por periodos los promedios y la desviación estándar de los días, clasificando con la norma ASTM: 1193:2001, desarrollando comparaciones con 4 muestras diferentes; agua de lluvia, garrafón, llave y laboratorio de química.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Posteriormente, se muestran los resultados obtenidos en los meses de Abril y Mayo del año 2018, se terminaron de realizar las pruebas experimentales en el mes de Marzo del 2019 y se compararon con otros trabajos para saber si el actual trabajo tenía mejor rendimiento y calidad que los ya realizados por otros autores.

4.1 Pruebas de Funcionamiento

En la fig.25, se muestra la cantidad de agua destilada que se fue registrando cada hora durante el lapso de las 9:00 am a las 17:00 pm. Se observó que de las 12:00 pm hasta las 5:00 pm estuvo parcialmente nublado, registrando una temperatura máxima de 29 °C. Otra de las causas que afectó la producción, fue que la manguera que va conectada a la canaleta; donde el producto pasa para su almacenamiento, no estaba correctamente instalada provocando fugas, por lo tanto, solo en ese día se obtuvo un total de 51 mL.

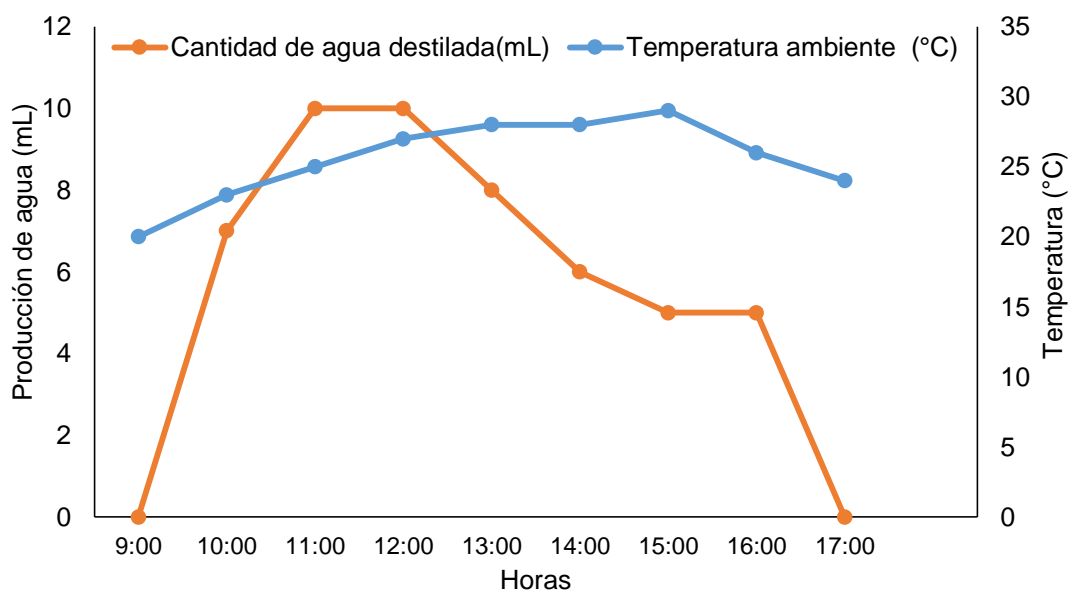


Fig.25. Comportamiento Prueba de Funcionamiento 1

En la segunda prueba se empezó a medir 10 horas seguidas, donde se pudo observar la mayor parte del día soleado con una temperatura 33 °C, se obtuvo un total de 510 mL de agua destilada como resultado total(Fig.26).

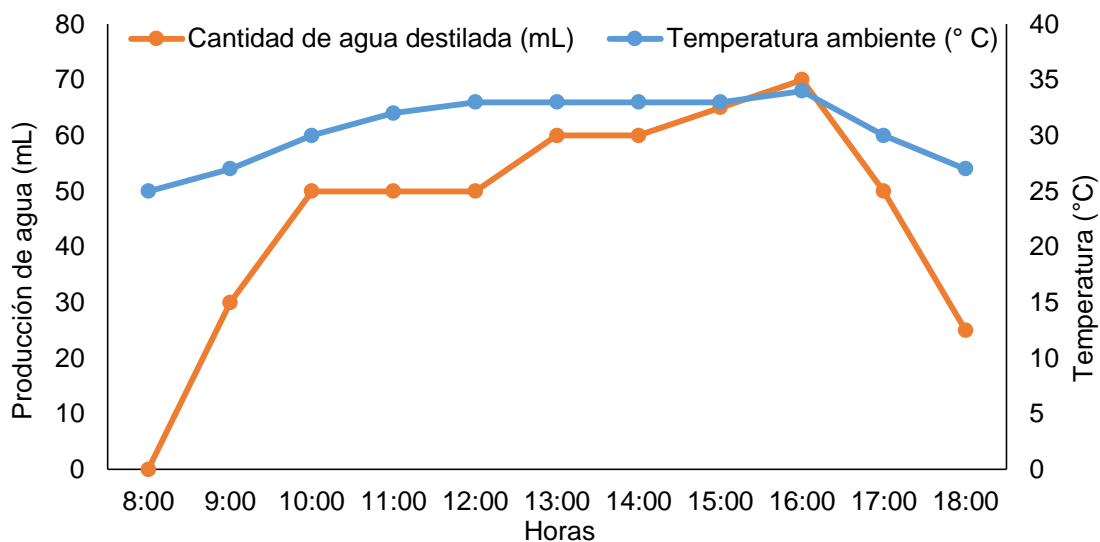


Fig.26. Comportamiento Prueba de Funcionamiento 2

En un estudio desarrollado por García (2014), las pruebas de funcionamiento se realizaron durante 10 días, obteniendo un máximo de 2863 mL, en el presente estudio, en un sólo día se produjeron un total de 561 mL.

4.1.1 Evaluación Semanal de Producción Agua Destilada

En la fig.27, se muestran las primeras pruebas de cinco días, en las cuales únicamente se tomó en cuenta la temperatura ambiente y al final del día se midió la cantidad de agua destilada, la cual no fue favorable debido a que no hubo altas temperaturas y se pudieron observar nublados parciales durante los días de análisis, con lo cual se obtuvo un total de destilado de 710 mL.

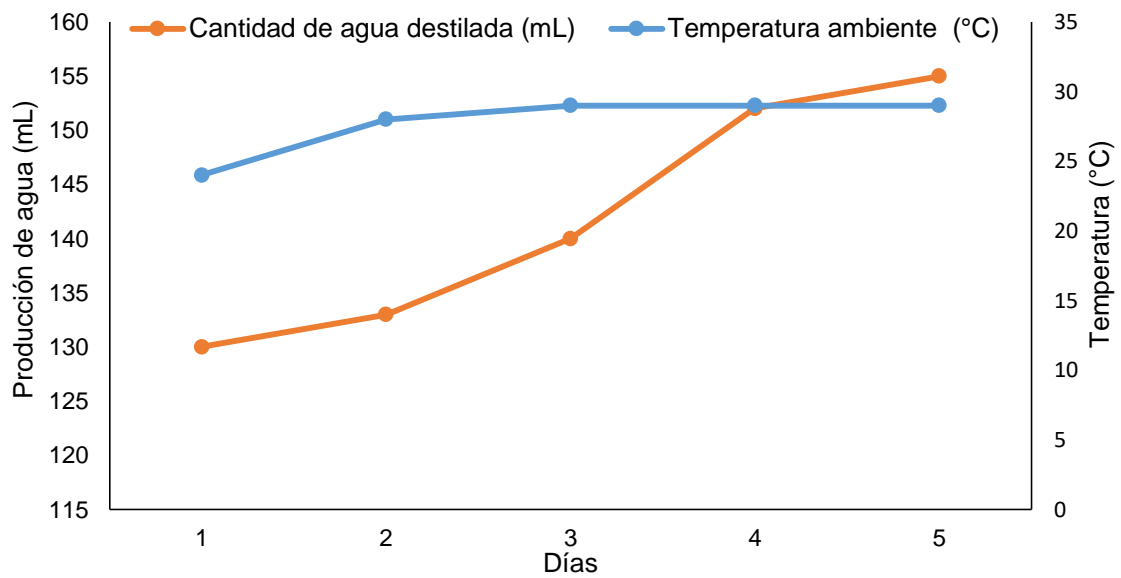


Fig.27. Comportamiento de Semana 1

Para en la segunda semana, los primeros 3 días se encontró parcialmente nublado, mientras que los otros dos fueron soleados, la temperatura ambiente fue de 29 °C, ocasionando una producción baja con un total de 760 mL (Fig.28).

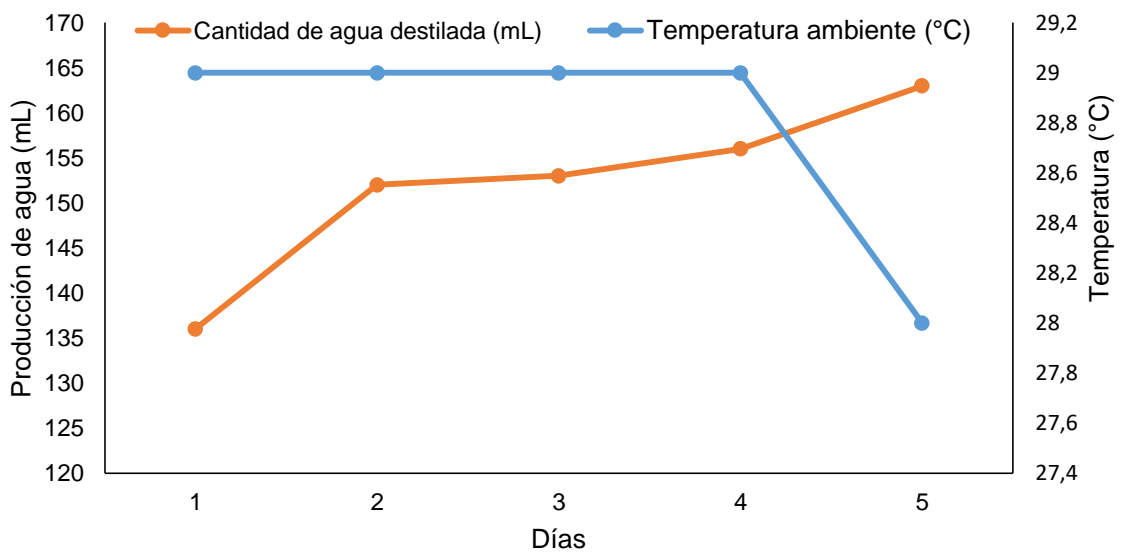


Fig.28. Comportamiento Semana 2

En el estudio de Rodrigo *et al.*(2016), las corridas experimentales se realizaron entre los meses de enero y febrero obteniendo 2400 mL m⁻², en el presente estudio se evaluaron dos semanas continuas en el mes de marzo obteniendo 1470 mL.

4.1.2 Evaluación diaria de producción de agua destilada.

En la fig.29, se muestra la medición de la corrida experimental uno, de 8 horas continuas con una temperatura ambiente máxima de 33°C, se tomó en cuenta la temperatura del enfriamiento y de la caja llegando a los 55°C, de la 13:00 pm a las 15:00 pm se observaron nublados parciales, que no favorecieron la producción del día, por lo que se generaron únicamente 185 mL de agua destilada.

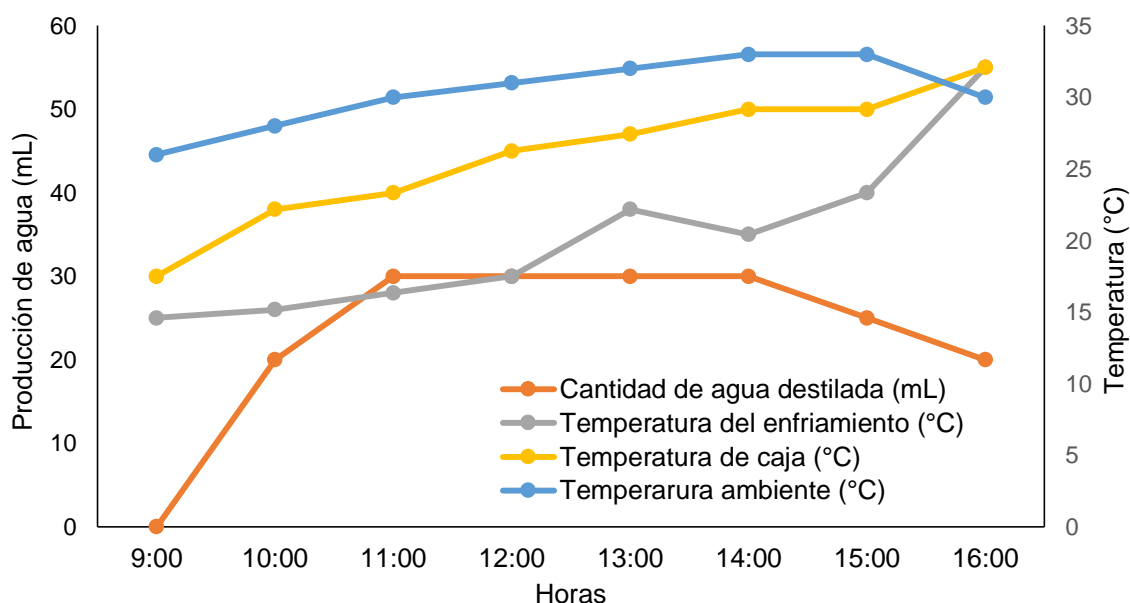


Fig.29. Comportamiento de la Corrida Experimental 1

El estudio de Álvarez (2015), en datos obtenidos en periodo de ensayos y mediciones fueron los siguientes: día temperatura ambiente, caudal, cantidad de agua destilada, en el que evaluó únicamente dos semanas, obteniendo un total de 5000 mL. En el actual trabajo sólo se registró temperatura ambiente, del enfriamiento, la caja y cantidad de agua destilada, donde se midieron cuatro semanas obteniendo un total 8300 mL.

En la corrida experimental dos, se manejó una temperatura constante de 28°C del enfriamiento, con una temperatura ambiente máxima de 30 °C, durante el día estuvo totalmente soleado, fue notable el aumento de la producción de agua destilada con un total de 2150 mL en un tiempo de 9 horas (Fig.30).

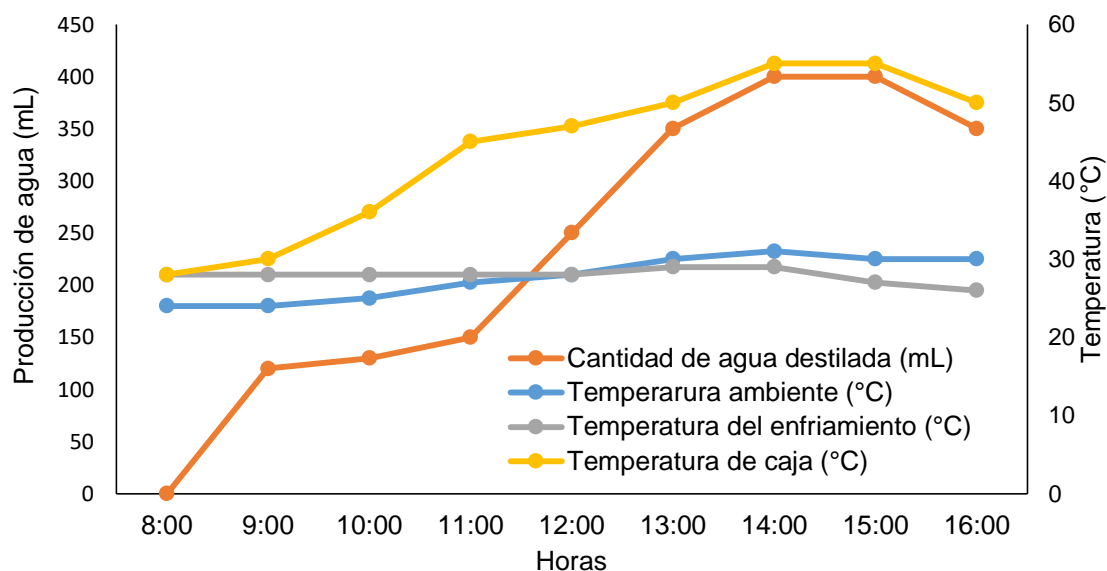


Fig.30. Comportamiento de la Corrida Experimental 2

En el estudio que realizo Satín (2005), solo tomo en cuenta tres puntos del día para hacer la medición (mañana, medio día y tarde), donde tomaron en cuenta temperatura supuestas, calculadas y el flujo de calor para un cálculo de productividad. En el actual se fue evaluando cada hora empezando a las 8:00 am y terminando a las 16:00 pm, registrando los datos de temperatura ambiente, caja, enfriamiento y cantidad de destilado.

En la fig. 31, se observan los resultados de la corrida experimental 3, similares a la corrida experimental 2, ya que el agua del enfriamiento era cambiada cada hora, para mantener una temperatura constante de 28 °C, con una temperatura ambiente máxima de 30 °C, durante el día estuvo soleado, llegando la temperatura de la caja a 55 °C, en lapso de las 8:00 am a las 16:00 pm se generó una cantidad de 2040 mL de agua destilada.

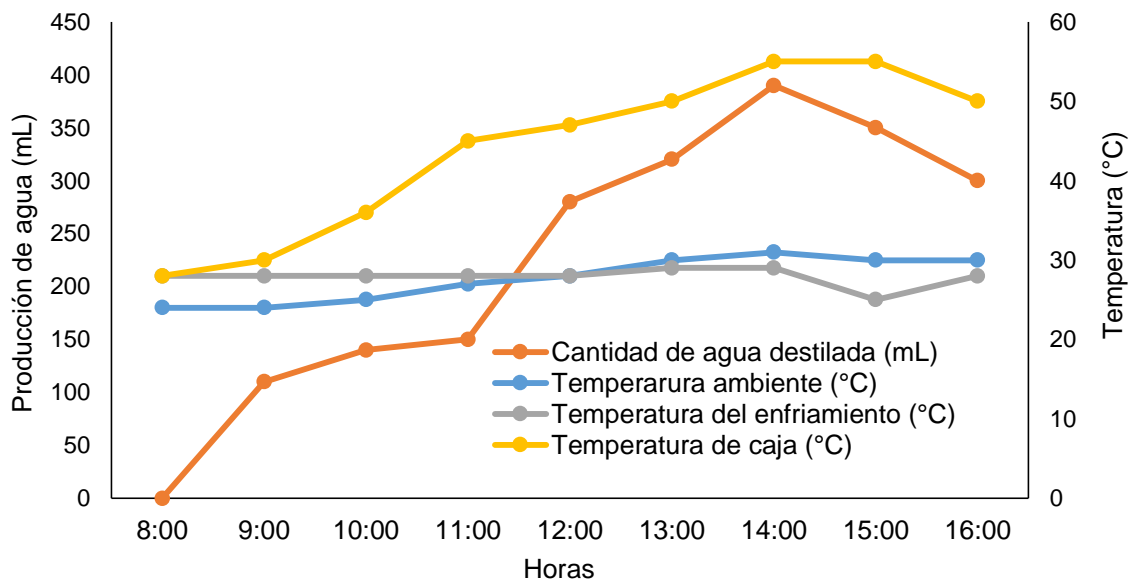


Fig.31. Comportamiento de la Corrida Experimental 3

El trabajo desarrollado por Marchesi *et al.* (2009), mantuvo la temperatura de la caja en un rango de 60 a 90 °C, durante 24 horas del día, así obtuvo valores importantes de producción de 4 L d⁻¹. En el actual trabajo sólo se llegó a registrar 45 a 55 °C durante el día 2150 mL.

En la corrida experimental cuatro, se observa la medición de ocho horas continuas, durante la mayor parte del día estuvo soleado alcanzando una temperatura máxima de 30 °C, por lo que la temperatura de la caja fue de 55 °C, la del enfriamiento se mantuvo en 28°C al cambiarla cada hora obteniendo una producción de 1445 mL durante el día (fig.32).

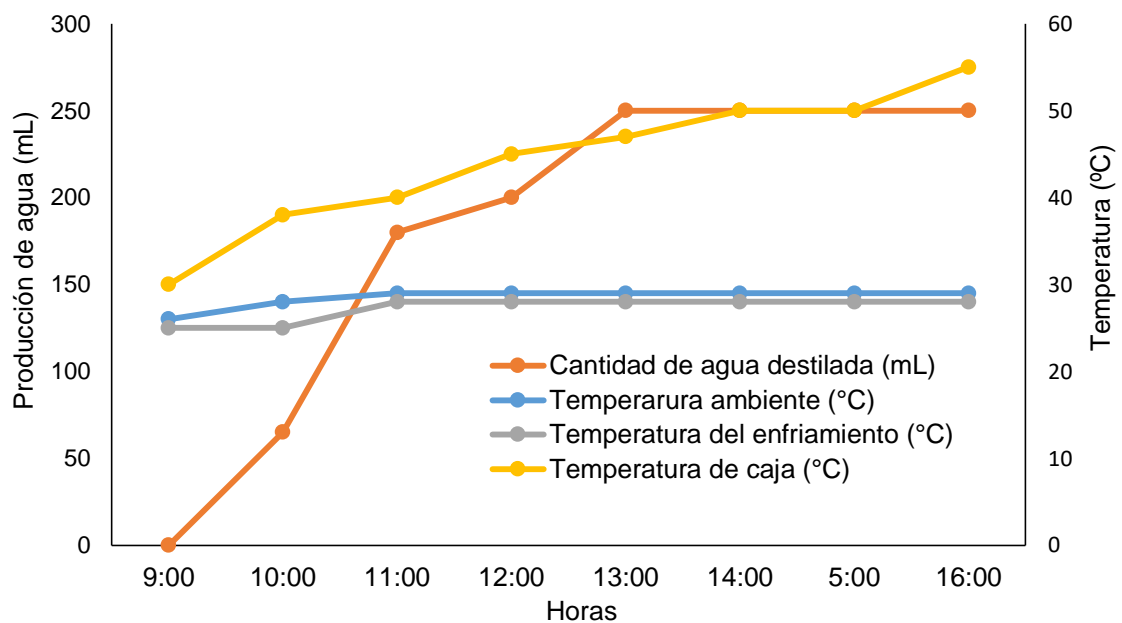


Fig.32. Comportamiento de la Corrida Experimental 4

En el trabajo desarrollado por Rodríguez (2008), la productividad del equipo varía, lo cual se debe a la variación de las condiciones climáticas, pero puede obtener valores entre los 250 a 350 mL de agua destilada diariamente. En el presente trabajo varía la producción de acuerdo a la radiación y clima se obtiene de 600 a 1445 mL.

En la fig. 33, Se observa la medición de la corrida experimental cinco en lapso de las 10:00 am a las 17:00 pm, con una temperatura ambiente máxima de 28°C, de las 14:00 pm a las 17:00 pm estuvo parcialmente nublado y la temperatura de la caja sólo alcanzó 45 °C, afectando la producción del agua, obteniendo durante el día una cantidad de 620 mL.

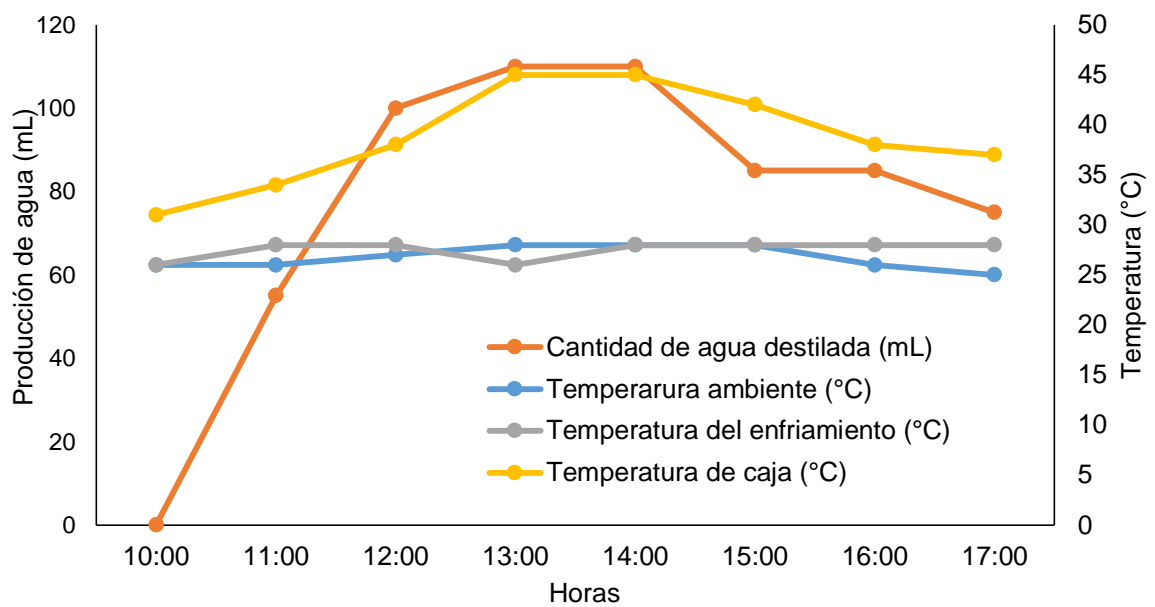


Fig.33. Comportamiento de la Corrida Experimental 5

El estudio de Esteban *et al.* (2010), durante un día se realizaron medidas de producción de destilado y temperatura de la caja cada dos horas desde las 7:00 hasta las 24:00 horas. En el presente trabajo fue por horas en un lapso de 10:00 am a las 17:00 pm.

La corrida experimental seis, se registró la medición de un día de las 9:00 am a las 16:00 pm donde la temperatura máxima fue de 27 °C, donde también se mantuvo una temperatura del enfriamiento de 26 °C a 28 °C, la de caja de 42 °C, no fue tan favorable la producción debido a que no hubo altas temperaturas y hubo presencia de nublados lo cual solo se obtuvo un total de 600 °C (Fig.34).

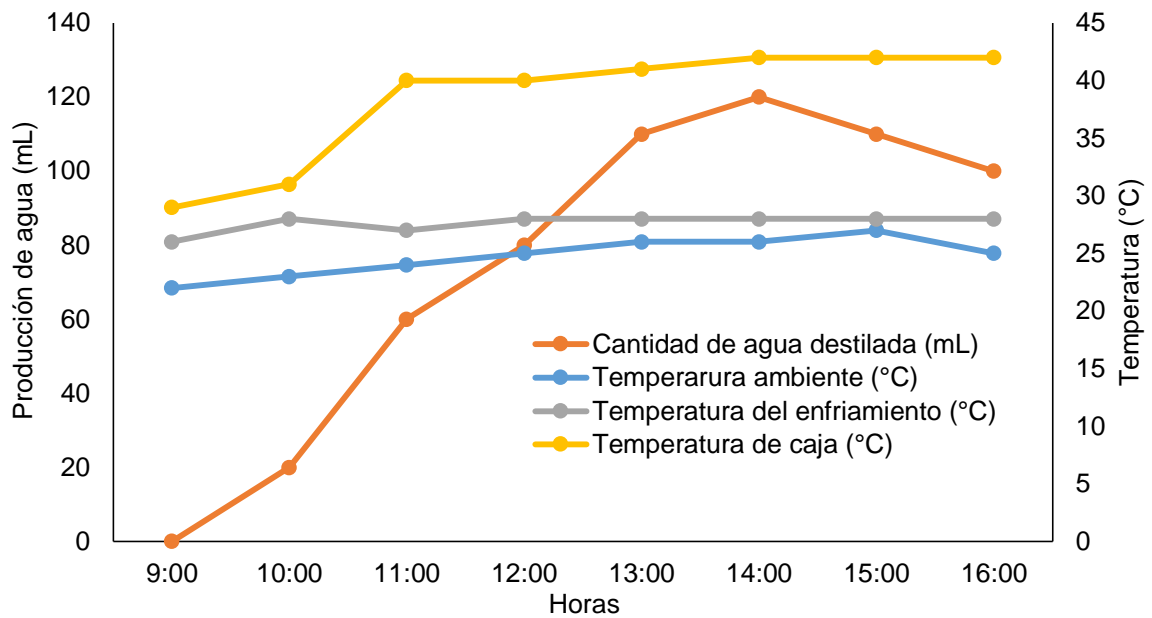


Fig.34. Comportamiento de la Corrida Experimental 6

El estudio desarrollado por Paul (2001), muestra el destilado promedio horario en cm^3/hr y el destilado total diario en $\text{cm}^3/\text{día}$ que presentan una dependencia exponencial con la temperatura del agua con un alto coeficiente de determinación. En el actual se muestra la cantidad por días en mL.

En la fig. 35, se observa la medición de la corrida experimental siete, empezando de las 10:00 am a las 17:00 pm, donde se alcanzó una temperatura ambiente máxima de $28\text{ }^\circ\text{C}$, de igual manera el enfriamiento se mantuvo en un rango de 26 a $28\text{ }^\circ\text{C}$, donde se observó que todo el día se mantuvo soleado, eso favoreció a la producción, ya que no hubo temperaturas muy altas lo que se obtuvo un total de 660 mL durante el día.

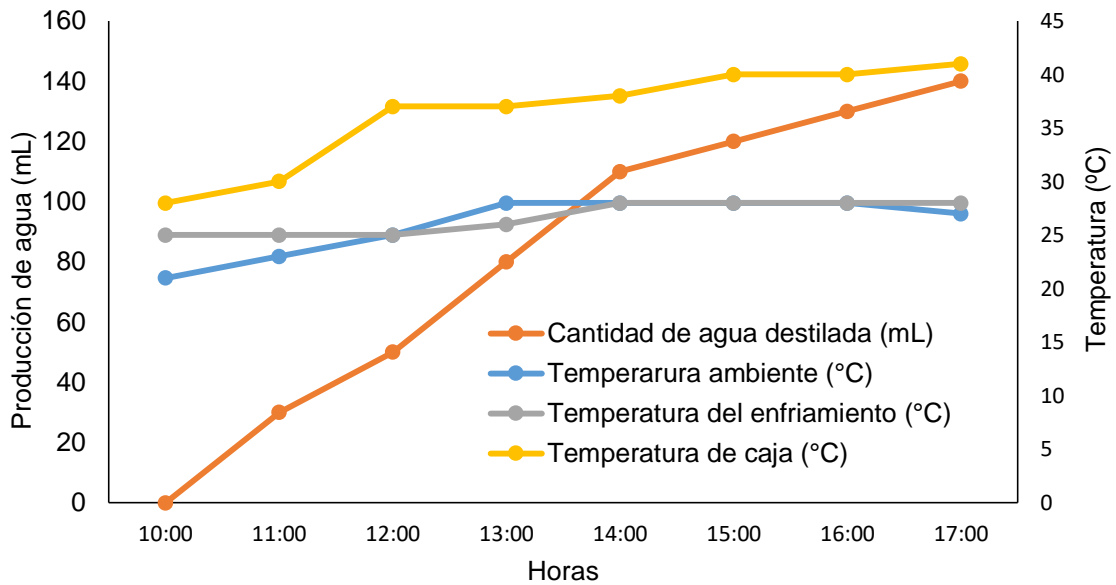


Fig.35. Comportamiento de la Corrida Experimental 7

En el trabajo desarrollado por Fuentes y Roth (1997), el modelo matemático que utilizado para la destilación en una torre de cajas en vacío con energía solar, predice valores de la producción sobre 20 veces mayor que al convencional. En el actual trabajo no se usó ningún modelo matemático, sin embargo, la producción por día ha sido favorable llegando hasta los 660 mL en un día que la temperatura máxima fue de 28 °C.

Se muestra el comportamiento de un día de medición de la corrida experimental ocho, donde fueron 8 horas continuas, lo cual se alcanzó una temperatura ambiente 30 °C, manteniendo constante el enfriamiento de 28 °C, mientras la de la caja solo llegó a los 45 °C, debido a que la mayor parte del día se presenciaron nublados, ocasionando una producción baja obteniendo solo 960 mL durante ese día (Fig.36).

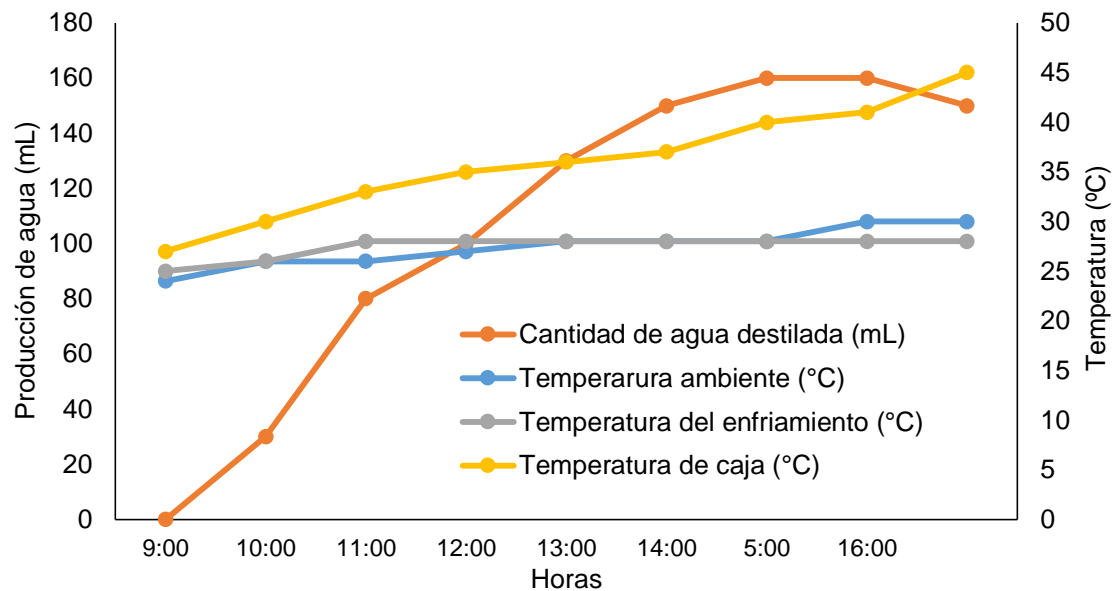


Fig.36. Comportamiento de la Corrida Experimental 8

En el estudio realizado por Marchesi *et al.* (2006), lo producido por el destilador básico es congruente con lo previsto (entre 1 y 2 litros por día), se ha llegado a un máximo en el mes de Marzo de 2800 mL por día, disminuyendo hacia los meses de invierno como consecuencia de la menor duración de la radiación solar. En actual estudio la mayor producción se dio en el mes de abril y mayo obteniendo 2040 mL por día.

En la fig.37, se muestra el comportamiento de la corrida experimental nueve, donde se inició a las 9:00 am y finalizó a las 16:00 pm, con una producción baja debido a que la temperatura máxima que se registró en ese día fue de 28 °C, por lo que la caja solo llegó a los 40 °C, durante el día estuvo parcialmente nublado por lo que se obtuvo una cantidad de agua destilada de 480 mL.

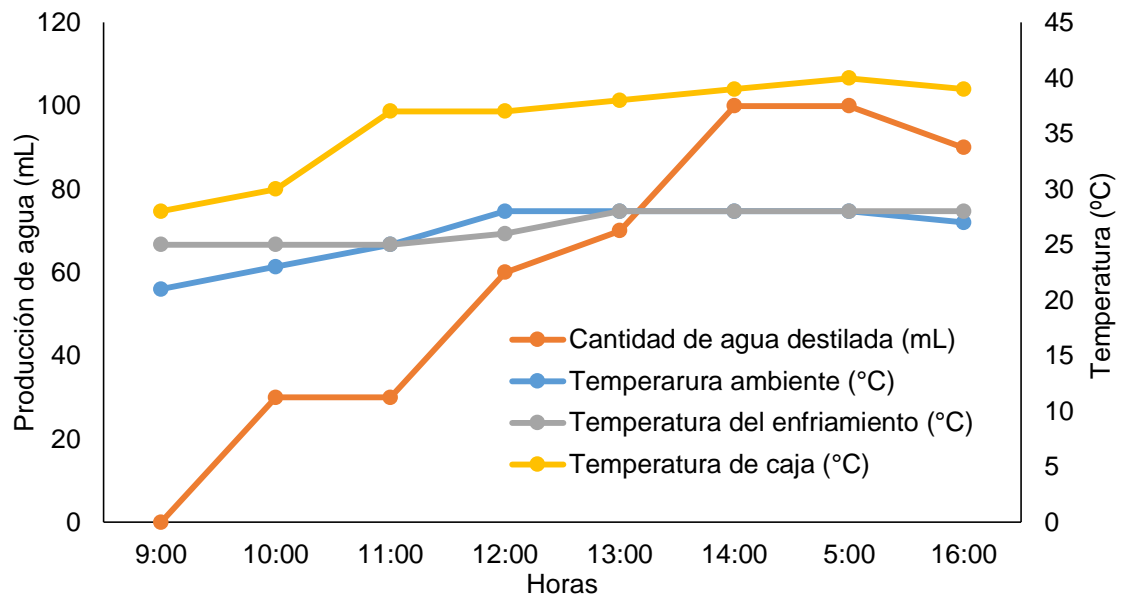


Fig.37. Comportamiento de la Corrida Experimental 9

En el trabajo que desarrolló Salvatorre (2015), la producción del destilador fue de 500 mL de agua destilada en 4 horas con temperaturas altas de 34 °C, el presente trabajo sólo obtuvo 480 mL durante 8 horas debido a que no se alcanzaron altas temperaturas presentando nublados.

En la corrida experimental diez, se observa la medición de cada hora que se empezó de las 9:00 am hasta las 16:00 pm, con una temperatura ambiente máxima de 30 °C, la de la caja 55 °C, manteniendo una temperatura constante del enfriamiento de 28 °C, favoreciendo la producción ya que durante el día estuvo totalmente soleado obteniendo 1830 mL (Fig.38).

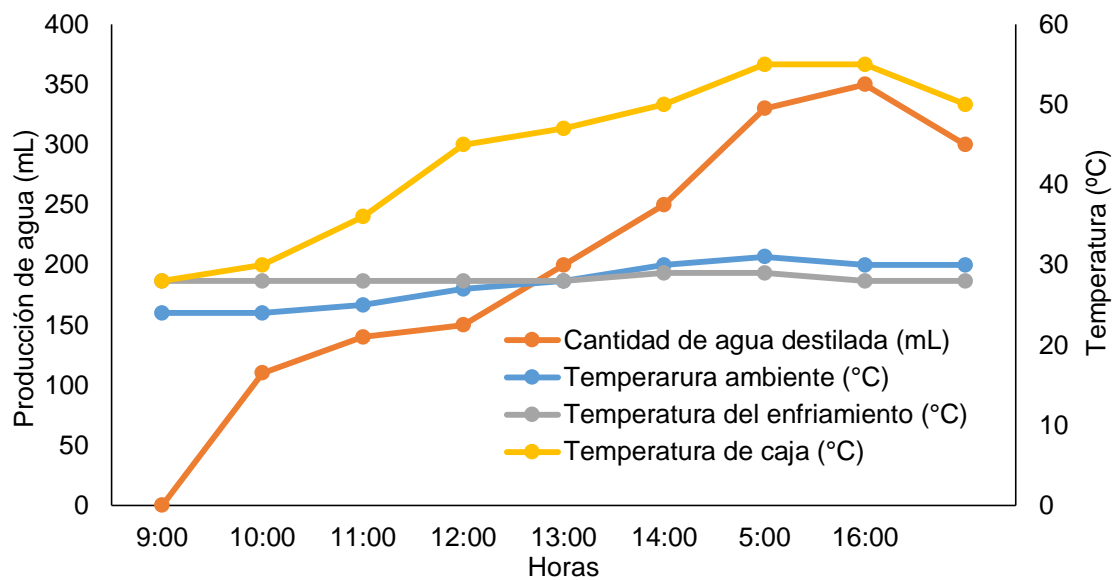


Fig.38. Comportamiento de la Corrida Experimental 10

En el estudio desarrollado por Shyam *et al.* (2013), el proceso de medición sólo duró aproximadamente 9 días y con un total de producción de 20800 mL de agua destilada. En el actual trabajo fue un 1 mes con lo que se recolectó 13321 mL.

En la siguiente fig.39, se muestra la evaluación de la corrida experimental once, donde inició de las 9:00 am a las 4:00 pm con temperatura máxima de 27 °C, por lo que la de la bandeja la máxima fue 38 °C, cambiando el agua del enfriamiento para que no rebasará los 28°C, se observaron nublados parciales durante las horas que se midió, afectando la producción del día obteniendo 64 mL.

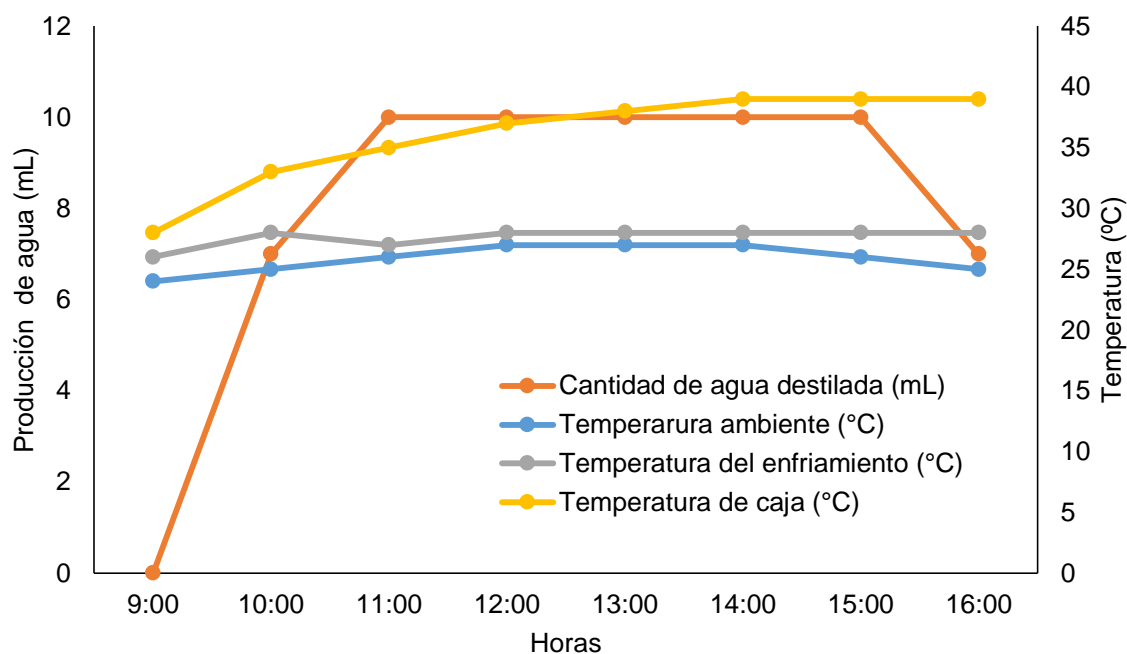


Fig.39. Comportamiento de la Corrida Experimental 11

En el estudio realizado por Franco *et al.* (1999), la producción de agua destilada fue obtenida manualmente, que se midió por tiempos de 3 horas, la mejor producción que obtuvo fue de 180 mL por hora a una temperatura de la bandeja de 96°C. En el actual estudio fue por 8 horas continuas, la temperatura de la caja sólo alcanzó 39 °C, por lo que se generó un total de 64 mL de aguas destilada.

Se observa la evaluación de la corrida experimental doce, empezando de las 10:00 am a las 16:00 pm, con una temperatura ambiente máxima de 28 °C, durante el día estuvo parcialmente nublado lo que ocasiono que la temperatura de la caja sólo fuera de 32 °C, por lo que solo se obtuvo una producción de un total de 59 mL durante el día.

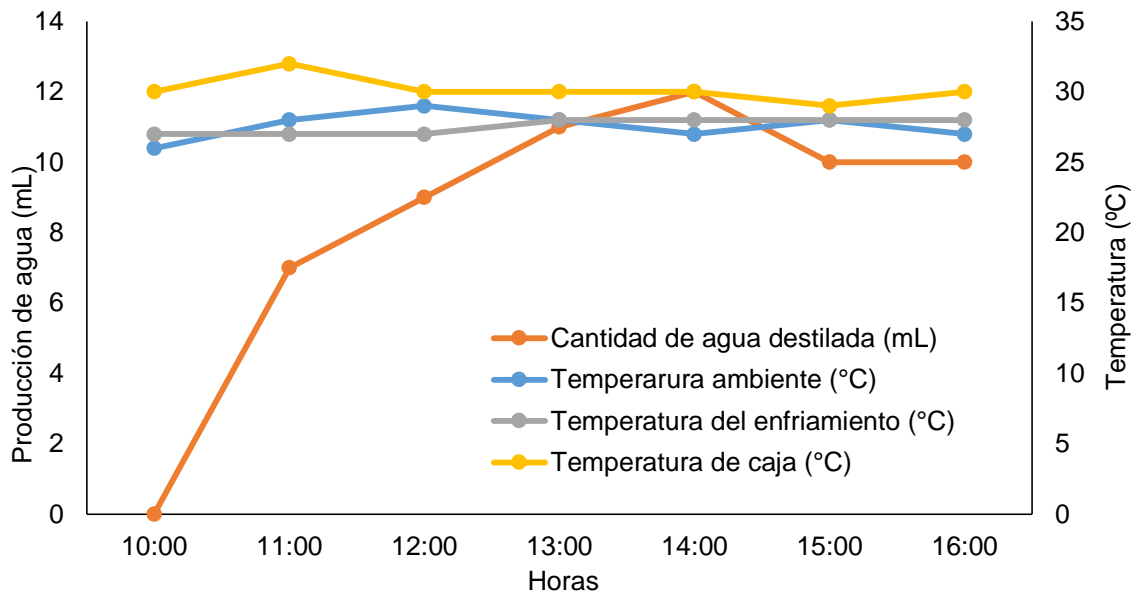


Fig.40. Comportamiento de la Corrida Experimental 12

En trabajo realizado por Marinho *et al.* (2012), se evaluaron 18 horas obteniendo un total de agua destilada de 6038 mL, el presente trabajo solo fue de 8 horas en la que solo se generó un total de 59 mL.

En la siguiente fig.41, se muestra la corrida experimental trece, en donde se midió un lapso de 8 horas continuas con una temperatura máxima de 31 °C, donde la caja sólo alcanzó 39 °C, y la del enfriamiento se mantuvo constante de 28 °C, durante el día estuvo parcialmente nublado, lo que afectó la producción, obteniendo un total de agua destilada de 89 mL.

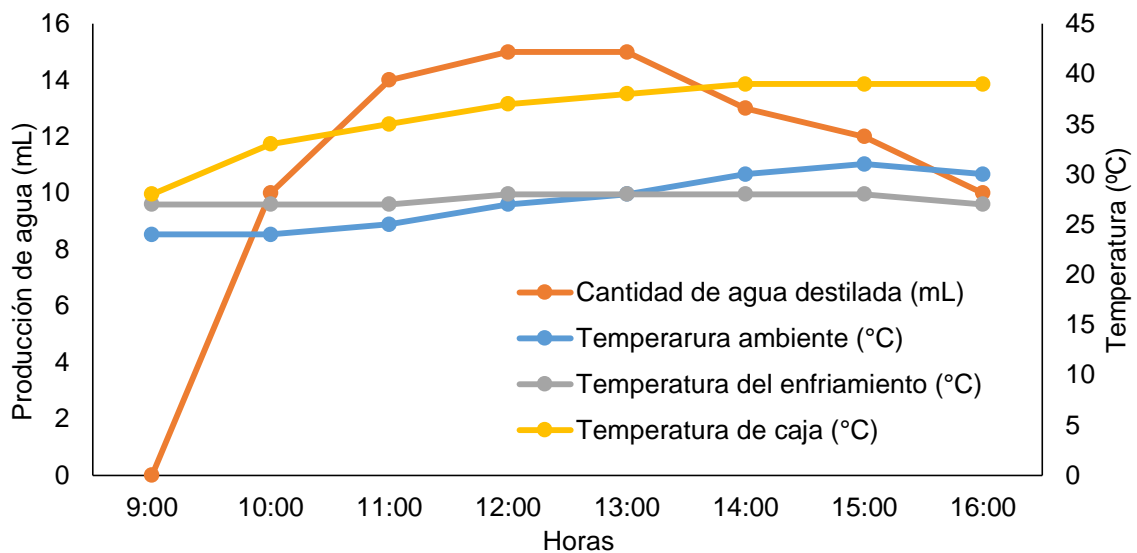


Fig.41. Comportamiento de la Corrida Experimental 13

En el estudio realizado por Franco *et al.* (2013), se midieron la cantidad de destilado, la cantidad de agua de salida del intercambiador, la cantidad de agua de rebalse, las temperaturas en la bandeja inferior y la del agua de rebalse, en la cara superior de la primer etapa, en la cara inferior de la segunda etapa, en el tanque de enfriamiento y también la temperatura dentro de las dos canaletas de recolección de destilado, donde fueron 3 periodos con una producción de agua destilada de aproximadamente 5000 mL. En el presente estudio se midió cantidad de agua destilada, temperatura ambiente, temperatura del enfriamiento, temperatura de la caja donde se fue evaluó por día obteniendo 89 mL.

En la corrida experimental catorce se observa el comportamiento de la medición de un día, empezando de las 9:00 am a las 16:00 pm, donde la temperatura máxima alcanzada fue de 20 °C, en donde la caja sólo alcanzó 30 °C, de las 12:00 pm a las 16:00 pm estuvo mayormente nublado, con lo que no fue necesario cambiar el agua del enfriamiento porque se mantuvo a los 27 °C como máximo, lo que afecto la producción generando un total de 84 mL durante 8 horas.

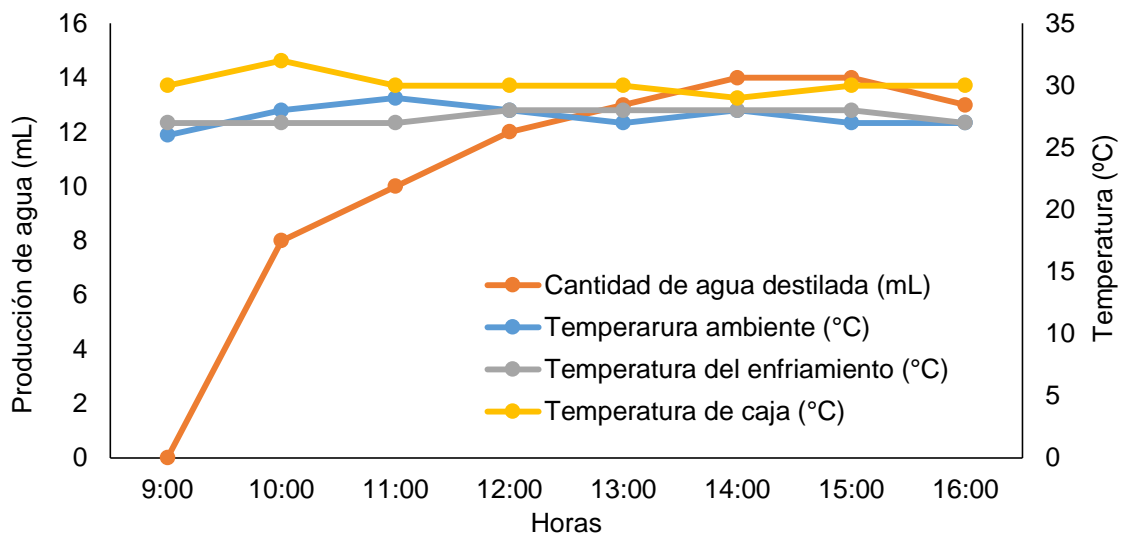


Fig.42. Comportamiento de la Corrida Experimental 14

El estudio realizado por Ahmadzadeh (1978), en 24 horas obtuvo 1000 mL de agua destilada, en el presente estudio en 8 horas se recolectaron 84 mL.

4.2 Análisis de la calidad de agua de las muestras

En la fig.43, se analizó la prueba de funcionamiento 1, en la que se obtuvo conductividad eléctrica 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sólidos disueltos totales 42 ppm y un pH 6, la prueba de funcionamiento 2, se registró conductividad eléctrica 49 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sólidos disueltos totales 38 ppm y un pH 6.

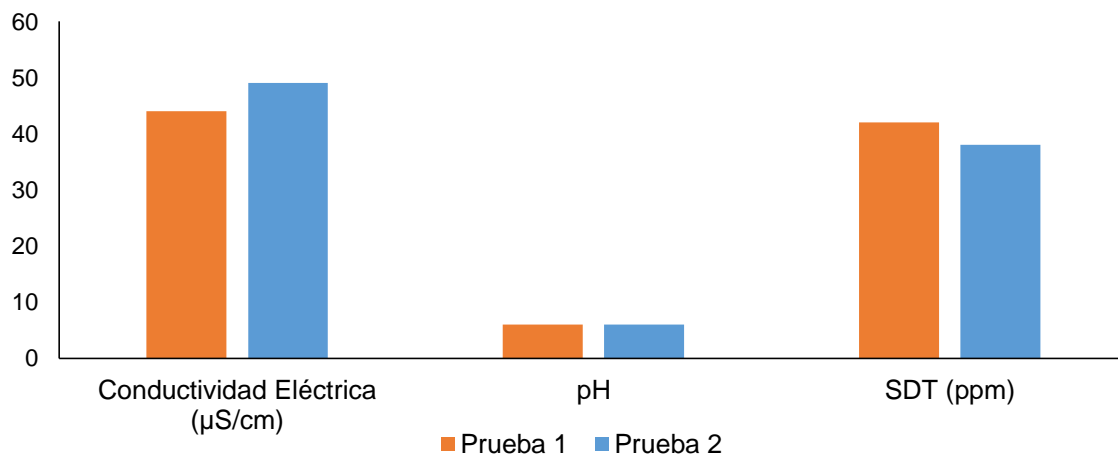


Fig.43. Análisis de Pruebas Funcionales

En el registro que se obtuvo de los análisis de las semanas 1 y 2 de las primeras corridas experimentales, donde la conductividad eléctrica fue de 43 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un pH de 7 y de sólidos disueltos totales 42 ppm. La semana 2 registro conductividad eléctrica 45 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH 6 y sólidos disueltos totales de 34 ppm (Fig.44).

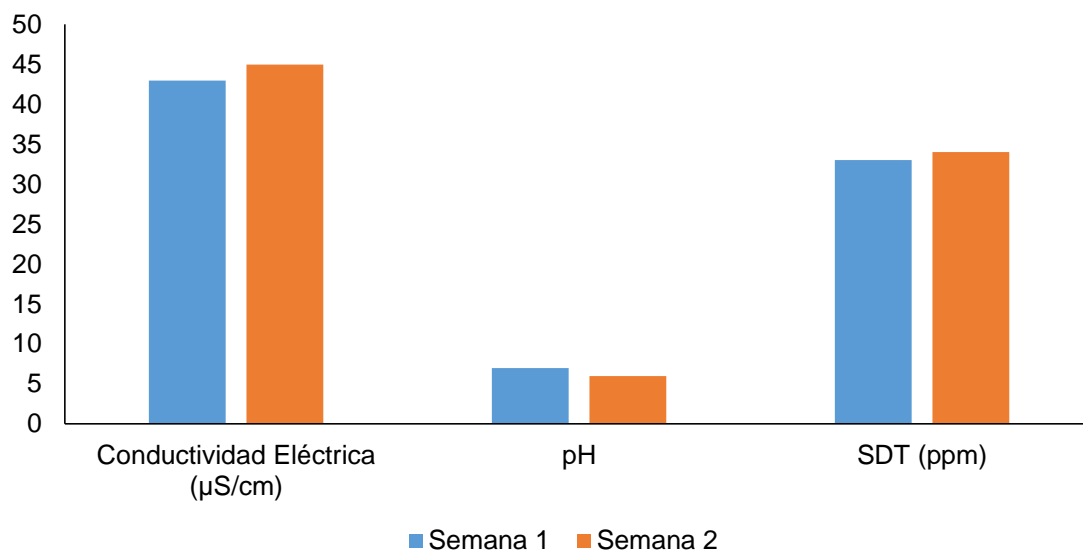


Fig.44. Análisis de Semana 1 y 2

En el trabajo desarrollado por Fonseca *et al* (2005), el análisis de calidad la conductividad, se encontró dentro de los límites establecidos que es menor de 10 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), el pH en todos los casos cumple con la norma establecida (entre 5, 4 y 7), el residuo por evaporación sí presenta valores superiores a los requeridos. En el presente trabajo la calidad no se encuentra dentro de los límites que establece la norma, debido a que fueron pruebas de funcionamiento y las otras fueron pruebas de semanas 1 y 2 donde el agua era acumulada haciendo los análisis cada 5 días.

En la tabla 3, se observa la clasificación de análisis de acuerdo a la norma ASTM 1193: 2001, donde el periodo 1, la CE ($\mu\text{S/cm}$) de $18,5 \pm 15,66$, $\text{pH} 7 \pm 0,75$ y SDT (ppm) $20,75 \pm 14,70$ rebasando los límites que establece la norma, y el periodo 2 obtuvo una CE ($\mu\text{S/cm}$) $4,83 \pm 0,83$, $\text{pH} 7,62 \pm 0,51$ y SDT (ppm) $5,37 \pm 1,18$ lo cual entra en el tipo IV de la normatividad para la preparación de soluciones y para el lavado o enjuague de cristalería en los laboratorios.

Tabla 3: Clasificación de Resultados de Acuerdo a la Norma ASTM 1193: 2001

| Parámetros | AD2 (X) | AD3(✓) | Tipo I | Tipo II | Tipo III | Tipo IV |
|-------------------------|-------------------|-----------------|--------|---------|----------|---------|
| CE ($\mu\text{S/cm}$) | $18,5 \pm 15,66$ | $4,83 \pm 0,83$ | | | | ✓ |
| pH | $7 \pm 0,75$ | $7,62 \pm 0,51$ | | | | ✓-X |
| SDT (ppm) | $20,75 \pm 14,70$ | $5,37 \pm 1,18$ | | | | ✓ |

CE = Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) y AD = Agua destilada periodo 2 y AD2=Agua destilada periodo 3.

De acuerdo a la tabla 4, se muestran los resultados de análisis de calidad de agua destilada dividida en 1 y 2 periodos, sacando la desviación estándar y promedio, comparando con 4 muestras diferentes, en la que se observa que el agua de mejor calidad es AD2 con una CE ($\mu\text{S/cm}$) $4,83 \pm 0,83$, $\text{pH} 7,62 \pm 0,51$ y SDT (ppm) $5,37 \pm 1,18$.

Tabla 4: Comparación de Resultados con las Muestras ALL, AG, AGLL y ALQ

| Parámetros | AD2 | AD3 | ALL | AG | AGLL | ALQ |
|-------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| CE ($\mu\text{S/cm}$) | 18,5 \pm 15,66 | 4,83 \pm 0,83 | 63,5 \pm 63,5 | 43,5 \pm 43,5 | 70 \pm 70 | 11,25 \pm 11,25 |
| pH | 7 \pm 0,75 | 7,62 \pm 0,51 | 7 \pm 0 | 7,25 \pm 0,5 | 7,25 \pm 0,5 | 8 \pm 8 |
| SDT (ppm) | 20,75 \pm 14,70 | 5,37 \pm 1,18 | 49,75 \pm 19,31 | 40,5 \pm 35,63 | 63,75 \pm 9,67 | 5,5 \pm 5,5 |

CE = conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$), **SDP** = Sólidos disueltos totales (ppm), **AD** = Agua destilada periodo 2, **ALL** = Agua de la llave, **AG** = Agua de garrafón, **AGLL** = Agua de lluvia, **ALQ** = Agua destilada del laboratorio de química y **AD2**=Agua destilada periodo 3

En el trabajo de Huevo y Morán, (2012), la calidad del agua destilada es comparada con el agua de grifo y la Norma 1080: Agua de calidad para reactivo de los Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Midiendo los parámetros de bacterias (UFC/mL) 0, pH 6.33, Resistividad ($\text{M}\Omega/\text{cm}$) 0.068, Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) 14.91, Sólidos totales (mg/L) 80.33 y Carbón orgánico oxidable total (mg/L) 23, donde el agua destilada que se obtuvo rebasa los límites que establece en dicha norma. El actual trabajo se comparó con ALL, AG, AGLL, ALQ y se clasificaron los resultados de acuerdo a la norma ASTM 1193-2001, con los parámetros CE ($\mu\text{S/cm}$), pH, SDT (ppm), donde se dividió en periodo 1 y 2, sacando promedio y desviación estándar donde el periodo 2 se registró con CE ($\mu\text{S/cm}$) 4,83 \pm 0,83, pH 7,62 \pm 0,51 y SDT (ppm) 5,37 \pm 1,18, lo que cumple con la clasificación el tipo IV de la norma.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

De acuerdo con el estudio realizado, el proyecto del destilador solar es una solución económica y simple que permite obtener agua apta para los laboratorios, además de que tiene la intención de abastecer a los laboratorios de Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos del destilador solar, es viable su construcción requiriendo de una moderada inversión inicial, en un corto plazo se recupera la inversión, lo cual representa un ahorro económico para ser usado en otras actividades que lo requieran.

Los resultados que se obtuvieron fueron los esperados, tiene un grado de factibilidad ya que produce 2150 mL en un día soleado con altas temperaturas, su calidad del agua es mejor que el agua de garrafón o la de llave y de lluvia.

Con las pruebas realizadas se pudo observar que cumple con una calidad de 50% menos conductividad eléctrica que el agua de garrafón y la potable, así como también se hizo una comparación de la utilizada en laboratorio, la que se obtuvo mediante el sistema siendo la mejor opción para ser utilizada en el laboratorio para diferentes actividades.

Para poder aprovechar el sistema de distribución ya construido se puede hacer un análisis llevar acabo el almacenamiento mejoran y rápidamente recepciones del líquido en la parte donde lo necesite.

Para los meses de lluvia que son octubre, noviembre, diciembre y hasta el mes de enero la producción de agua disminuye considerablemente, ya que con los datos obtenidos solo se acumularía 1 litro por 10 días.

Al mantener la temperatura de la caja mayor de 50 °C, fue notorio la mayor producción de agua destilada.

Recomendaciones

Una de las condiciones necesarias para la optimización del destilador solar es que exista un medio donde la transferencia de calor sea máxima, esto ocurre cuando la temperatura del agua dentro del sistema y la temperatura del vidrio exterior tiene una diferencia de temperatura mayor, con las modificaciones mencionadas anteriormente refrigeración y acelera con el sistema de agua fría que actúa para reducir la temperatura.

Para tener una mayor producción de agua destilada se debe mantener el enfriamiento a temperatura menor de 28°C.

Contar con un sistema de agua circulatorio para el enfriamiento.

Darle mantenimiento continuamente para tener calidad de producto, la cubierta de vidrio del destilador solar debe mantenerse limpia para evitar que la acumulación de polvo o partículas de suciedad impidan la transferencia de calor y el ingreso de la energía solar.

Sustituir algunos materiales para favorecer el rendimiento del destilador solar.

Se recomienda utilizar materiales cuyo precio no sea muy elevado.

Revisar bien las fugas del sistema para que no afecten el rendimiento, ya que se disminuye la temperatura para la evaporación del agua en el interior.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A. y Martínez, E. (2010). El agua, un derecho humano fundamental Agua. Un derecho humano fundamental, 5: 7-45.
- Ahmadzadeh, J. (1978). Solar Earth Water Stills. Solar Energy, 20: 387-391.
- Álvarez, R. A. Valdivieso Osegueda, S. E. y Villegas López, F. J. (2007). Anteproyecto Arquitectónico del Centro Cultural y Recreativo para los Trabajadores Municipales de la Alcaldía de San Salvador. Tesis doctoral, Universidad de El Salvador, 114.
- Armendáriz, S. I. Porta-Gándara, M. Á. Foster, R. E. Koutsoukos, P. G. Bautista-Margulis, R. G. y Alonso, G. (2003). Comportamiento Isotérmico de la Precipitación Salina en un Destilador Solar Experimental. Revista de la Sociedad Química de México, 47: 287-294.
- Benavente, D. O. P. y Zeppelin, L. H. (2007). Diseño de un Destilador solar de mediana escala. Tesis Doctoral, Universidad de Chile, 167.
- Boero, R. y Pasqualini, D. (2017). Regional Water Coefficients for US Industrial Sectors. Water Resources and Industry, 18: 60-70.
- Caldera, U. Bogdanov, D. y Breyer, C. (2016). Local Cost of Seawater RO Desalination Based on solar PV and Wind Energy. A Global Estimate Desalination, 385: 207-216.
- Carletto, J. Demichelis, J. P. Gimeno, P. Masini, O. y Rodrigo, V. (2017). Tendencias Polinómicas de Rendimiento Tras el Ensayo de Prototipos de Destiladores Solares con Precalentadores de Agua por Doble vidrioado. Avances en Ciencias e Ingeniería, 8:30-31.
- Carrillo Trueba, L. A. (2007). Los destilados de Agave en México y su Denominación de Origen. Ciencias, 087: 25- 27.
- Castro, A. J. O. (2010). Análisis del Potencial Energético Solar en la Región Caribe Para el Diseño de un Sistema Fotovoltaico. INGE CUC, 6: 95-102.
- De Kuyper, J. C. V. (2014). Fuentes de Energía Renovable y no Renovable. Aplicaciones. Revista Escuela de Administración de Negocios, 77: 216-218.
- De Paul, I. (2000). Coeficiente de Transferencia Conectiva h en el Interior de un Destilador Tipo Batea. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 4:1-5.
- De Paul, I. (2001). Comportamiento de un Destilador Tipo Batea con Pendiente Alta en las Cubiertas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184, 5:1-6.

- Duffie, J. A. y Beckman, W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley y Sons, College Park MD, Conf-770966, 141.
- Esteban, C. Franco, J. y Fasulo, A. (2008). Evaluación Experimental de un Destilador Colector Solar Acumulador. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184, 61: 1-6.
- Fernández, J. A. F. (2012). Fundamentos del Enfriamiento Evaporativo para Instalaciones Avícolas. Selecciones Avícolas, 6: 8-9.
- Ferreiro Rusconi, C. E. S. (1997). Diseño de Construcción de un Destilador Solar, Tesis Doctoral, UCA, ES, 102.
- Fonseca. S. Abdala Rodríguez, J. L. Griñán Villafañe, P. y Sánchez Hechavarría, J. L. (2005). Prototipo de Destilador Solar de Fibra de Vidrio. Tecnología Química, 25: 3-10.
- Franco, A. J. Saravia Mathon, L. R. Fernández, C. A. y Esteban, E. S. (2013). Destilador Solar Multietapa Subatmosferico, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Impreso en la Argentina ISSN 2314-1433, 17: 1 -7
- Franco, J. Esteban, S. y Saravia, L. (1999). Destilador Multietapa. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 1: 2-4.
- Fuentes, R. y Roth, P. (1997). Teoría de la Destilación Solar en Vacío. Revista Facultad de Ingeniería, 4: 49-56.
- Garcia, C. E. (2014). Analisis, Diseño y Construcción de un Destilador Solar como Abastecimiento de Agua para el Laboratorio de Química del ITSM. Tesis de Licenciatura , Misantla, Mexico, 85.
- Gasca, C. E. (2013). Transición Energética, Energías Renovables y Energía Solar de Potencia. Revista Mexicana de Física, 59: 75-84.
- Gazulla, M. F. Sánchez, E. González, J. M. y Orduña, M. (2014). Comportamiento de Tejas de Diferente Color (rojo y paja) Frente al Biodeterioro. Bol. Soc. Esp Ceram Vid, 53: 227-234.
- González Ruiz, M. L. (2018). La calidad del agua para fines analíticos. Universidad de Sevilla, Departamento de Química Analítica Grado en Farmacia, pág.6-33.
- González-Zeas, D. Garrote, L. y Iglesias, A. (2010). Análisis Hidrológico de los Escenarios de Cambio Climático en España. Tesis Doctoral, Universidad Técnica de Madrid, España, 146.

- Harrison, N. y Rogelj, M. (2011). Energía. In *Mega Ciudades y Cambio Climático: Ciudades Sostenibles en un Mundo Cambiante*. El Colegio de México. 5: 47-66.
- Hernández, J. Escobar, I. y Castilla, N. (2001). La Radiación Solar en Invernaderos Mediterráneos. *Revista Caja Rural*, 9:157: 18-54.
- Huezo Bautista, F. R. y Morán Urrutia, J. I. (2012). Diseño, Construcción y Validación de un Destilador Solar Para Uso En Los Laboratorios de la Planta Piloto de la Escuela de Ingeniería Química. Tesis Doctoral. Universidad de El Salvador, 209.
- Iglesias, A. Estrela, T. y Gallart, F. (2005). Impactos Sobre los Recursos Hídricos. Evaluación Preliminar de los Impactos en España. *Efecto del Cambio Climático*, 3: 303-353.
- Jara Rivera, L. A. (2018). Análisis del Servicio de Energía Eléctrica del Sector Urbano del Cantón San Lorenzo, Provincia de Esmeraldas. Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Económicas, 98.
- Kaushal, A. (2010). Varun, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 446-453.
- Larsen, S. F. y Lesino, G. (2001). Incorporación de Módulos de Enfriamiento Evaporativo y de Intercambiadores Tierra-aire al Programa SIMEDIF. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5: 8-31.
- Lema Carrera, M. Á. (2015). Diseño e Implementación de un Sistema Automático de Purificación de Agua por Medio de Energía y Reflexión Solar y Luz Ultravioleta. Tesis de Licenciatura, Quito: EPN, 183.
- López Sako, M. J. (2009). Apoyo Público a la Energía Eólica en España. *Revista de derecho*, 31: 224-255.
- Luque Di Ruggiero, F. R. y Romero Castellanos, M. A. (2017). Diseño y Construcción de un Destilador de Agua Salada Alimentado por medio de Energías Renovables. Tesis de licenciatura, Universidad Piloto de Colombia, 90.
- Marchesi, J. Ducculi, E. Adaro, J. y Fasulo, A. (2006). Destilación solar en la UNRC Construcción y Primeros Resultados. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10: 2-31.
- Marchesi, J. Galimberti, P. Tobares, N. Adaro, J. y Fasulo, A. (2009). Determinación experimental de la producción de un destilador solar respecto a la temperatura del agua en la batea. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184, 13: 4-7.

- Marinho, F. J. L. Tavares, A. C. Santos, S. A. D. Marcovicz, F. Cruz, M. P. Souto, E. A. y Rocha, E. N. D. (2012). Destilador Solar Destinado a Fornecer Agua Potable para las Familias de Agricultores de Base Familiar. *Revista Brasileira de Agroecología*, 7: 53-60.
- Marón Vichi, F. (2009). Energía, Medio Ambiente e Economía: o Brasil no Contexto Mundial. *Química. Nova*, 32: 757-76.
- Masini, O. Carletto, J. Rodrigo, L. y Rodrigo, V. (2012). Diseño de un Destilador Solar Modular de Agua, de Bajo Costo para la Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales, Villa Mercedes, San Luis, evaluación de rendimiento y alternativas de optimización XXXV. Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, 23: 6-10.
- McJunkin, F. E. (1998). Agua y Salud Humana. Mexico, España y Colombia: LIMUSA, SA de CV, 4: 37-40.
- Medellin Milan, P. (2001). Termoelectricas. Una propuesta para Darle Viabilidad a la Ciudad Agua y Atmósfera, 2: 30-40.
- Megias, M. R. (2003). Guía de desarrollo sostenible, Intermón Oxfam Editorial, 20:15-25.
- Méndez, J. y Cuervo, R. (2007). Energía Solar Fotovoltaica. Fundación Confederal, Madrid, 3: 27-28.
- Nandwani, S. (2005). Energía Solar. Conceptos Básicos y su Utilización. Laboratorio de Energía Solar, Departamento de Física, Universidad Nacional, Heredia (Costa Rica), 3: 1-26.
- Nayi, K. H. y Modi, K. V. (2018). Pyramid solar still: A Comprehensive Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81: 136-148.
- Olmos Martínez, E. González Ávila, M. E. y Contreras Loera, M. R. (2013). Percepción de la Población Frente al Cambio Climático en Áreas Naturales Protegidas de Baja California Sur, México. *Polis. Revista Latinoamericana*, 5: 33-35.
- Oñate Paladines, A. Y. (2017). Determinación de Caudales Extremos Mediante Modelización Hidrológica y Análisis de Escenarios, Tesis de Licenciatura, 85.
- Ospino-Castro, A. (2010). Análisis del Potencial Energético Solar en la Región Caribe para el Diseño de un Sistema Fotovoltaico, 8: 95-102.
- Pérez Vanegas, J. J. Salazar Romero, A. y Álvarez Martínez, B. D. (2015). Análisis del Comportamiento de un Prototipo de Destilador Solar en la Ciudad de Cartagena, Tesis Doctoral. Universidad de Cartagena, 80.

- Robledo, F. H. (2008). Riesgos Físicos III: Temperaturas Extremas y Ventilación, Ecoe Ediciones, 3(1):5-7.
- Rodríguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la Energía Solar en Colombia y sus Perspectivas. Revista de ingeniería ISSN: 0121-4993, 28:12-27.
- Rojas, L. y Giovanni, Á. (2005). Diseño de un Destilador Solar Destinado a la Potabilización de Agua de lluvia. Tesis de Licenciatura. Quito: EPN, 106.
- Rojo, M. R. (2013). Cooperación Institucional. El Título Cooperante. Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado (REIFOP), 4(1):79-80.
- Salas, P. G. Pacheco, G. P. y Solís, N. O (2011). Obtención de Agua Destilada para Laboratorios de la UCSM Utilizando Energía Solar. XVIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XVIII- SPES).Lima, Universidad Católica de Santa María, 9:10-14.
- Santín Luna, C. E. (2005). Modelación y Simulación Dinámica para el Diseño de un Destilador Solar. Tesis de Licenciatura, 96.
- Scapino, L. Zondag, H. A. Van Bael, J. Diriken, J. y Rindt, C. C. (2017). Energy Density and Storage Capacity cost Comparison of Conceptual Solid and Liquid Sorption Seasonal Heat Storage Systems for low-temperature Space Heating. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76: 1314-1331.
- Scheffran J.Brzoska M. Brauch H. G. Link, P. M. y Schilling J(2012). Cambio Climático, Seguridad Humana y Conflictos Violentos. Berlín/Nueva York, Springer,3(7): 56.
- Valdivia-Medina, R, Pedro Valdés, S. y Laurel-Gómez, M. (2010). Agua Para uso en Laboratorios. Boletín Científico Técnico INIMET, 1: 6-9.
- Valiente Barderas, A. (1995). Historia de la Destilación. Educación Química, 7: 76-82.
- Wheeler, S. A. Loch, A. Crase, Young, M. y Grafton, R. Q. (2017). Developing a Water market Readiness Assessment Framework. Journal of Hydrology, 552: 807-820.
- Zayas, J. L. F. y del Valle, N. C. (2018). Destilador Solar para Agua. Gaceta Instituto de Ingeniería, UNAM, 129: 4-5.
- Zizzias, J. Fusilo, A. Venier, F. Marchesi, J. y Odicino, L. (2010). Evaluación Detallada de un Destilador Solar Colector Acumulador. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184, 14: 3-18.