



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

Booklets



RENIECYT

Registro Nacional de Instituciones
y Empresas Científicas y Tecnológicas

2015-20795

CONACYT

RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REBID - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Prototipo para separar sólidos del agua mediante la evaporación solar

Author: Víctor Hernández-Gómez, Omar Olvera-García

Editorial label ECORFAN: 607-8324
BCIERMIMI Control Number: 2016-01
BCIERMIMI Classification(2016): 191016-0101

Pages: 40

Mail: vichugo@unam.mx

RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

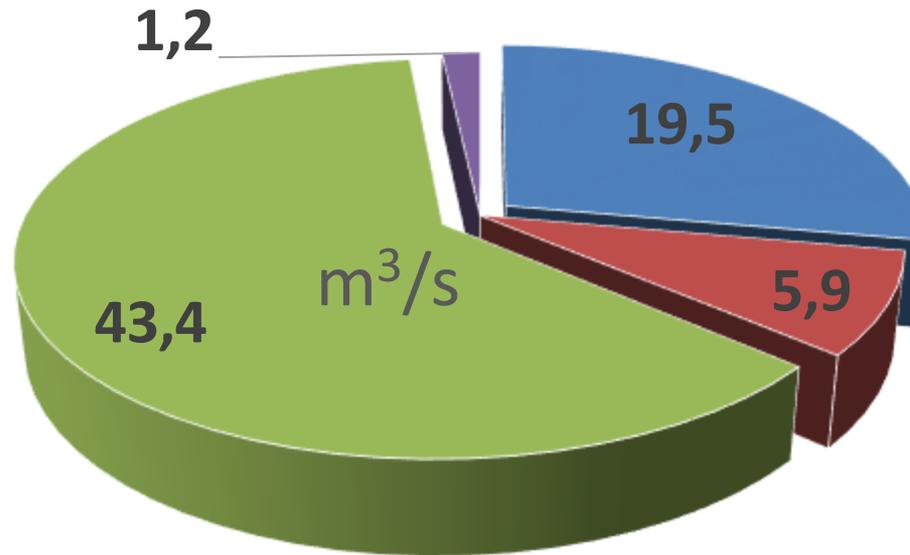
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
Peru	Spain	Cuba	Haití
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
Czech Republic			

El agua es un bien necesario para los procesos vitales y es por ello que el hombre ha buscado distintas formas para obtener un suministro del líquido.



■ Cutzamala ■ Lerma ■ Subterráneo ■ Superficiales



Debido a que la demanda de agua se ha incrementado con la población, se están buscando alternativas para el suministro de este vital líquido:

Traer agua de otros lugares: Amacuzac – Tecolutla I

Recuperar el agua negra

Proyecto Tezontepec

Condensación de la humedad del aire ambiental

Captación pluvial

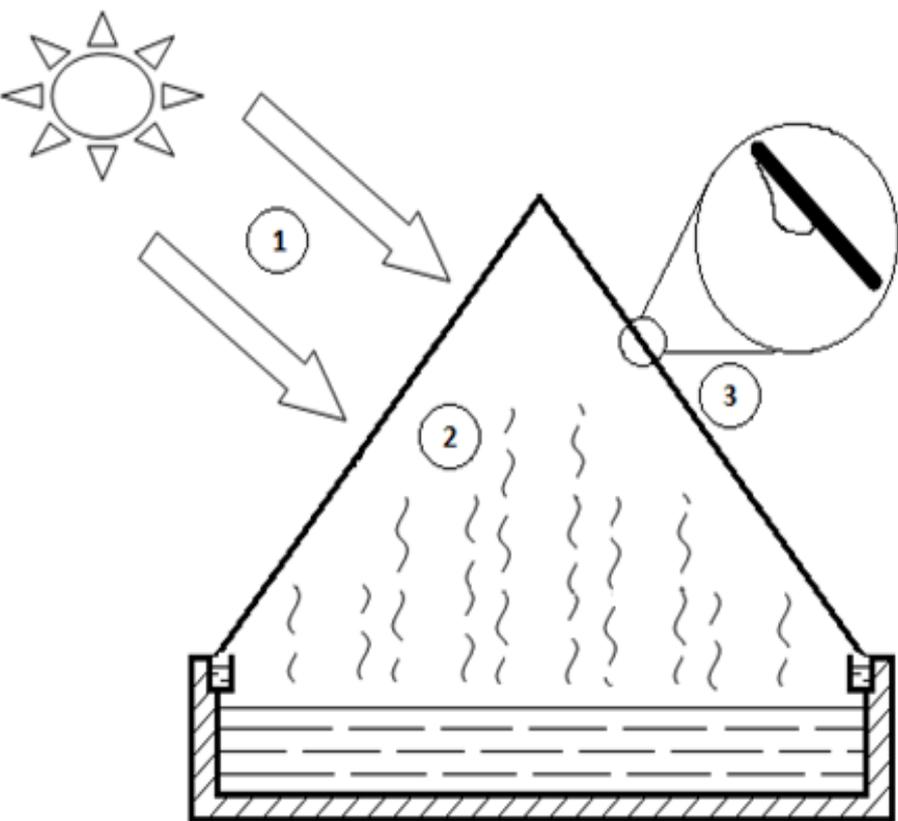
Reparación de fugas en el suministro del agua

Recuperar el agua de los ríos que actualmente están entubados

Desalación del agua de mar



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Todas estas opciones tienen un alto costo y por tal motivo se propone como objetivo principal de este trabajo, el diseñar y construir un prototipo que permita separar los sólidos disueltos en el agua mediante su evaporación, empleando al sol como fuente de suministro de calor.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

2016
CIERMMI
"La transición energética
en beneficio de México"
Del 19 al 21 de Octubre



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Stillwatersolar. Produce 11.36 litros en un día de verano y 7.57 litros durante el resto del año, con un área de captación de 1.67 m². Costo aproximado de 730 dls.



Destilador solar Rainkit 990. Produce 11 litros por día en verano y 5.5 litros en invierno con un área de 1.74 m². Costo aproximado de 245 dls.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



NMSS (PTY) LTD. Capacidad máxima de 50 litros con un área de captación de 2 m². Costo aproximado de 300 dls.



Destiladores Familiares

Rainmaker 550. Produce 6 litros en verano y 3 en invierno, cuenta con una superficie captadora de 0.93 m². Su costo es de 489 dls.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

2016
CIERMMI
"La transición energética
en beneficio de México"
Del 19 al 21 de Octubre



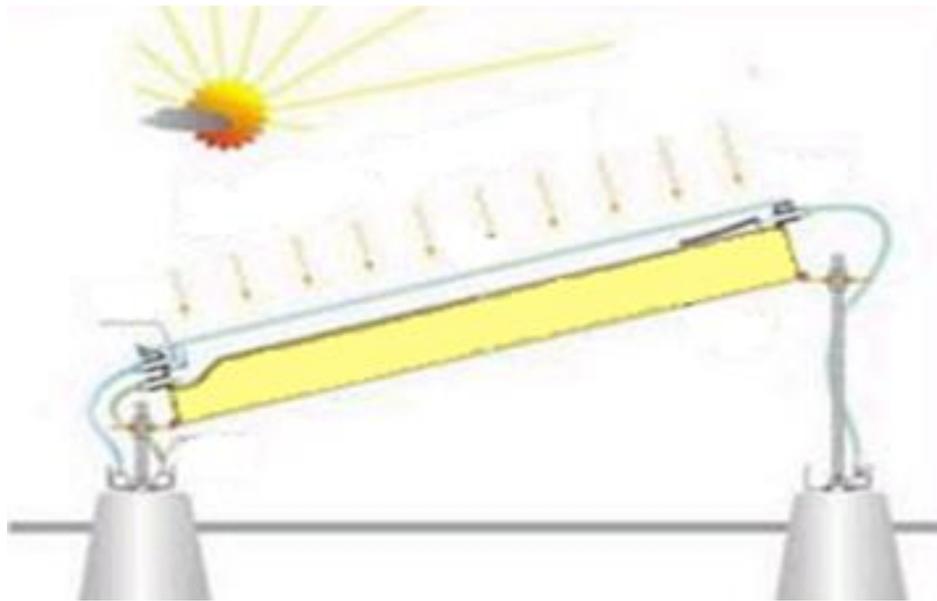
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



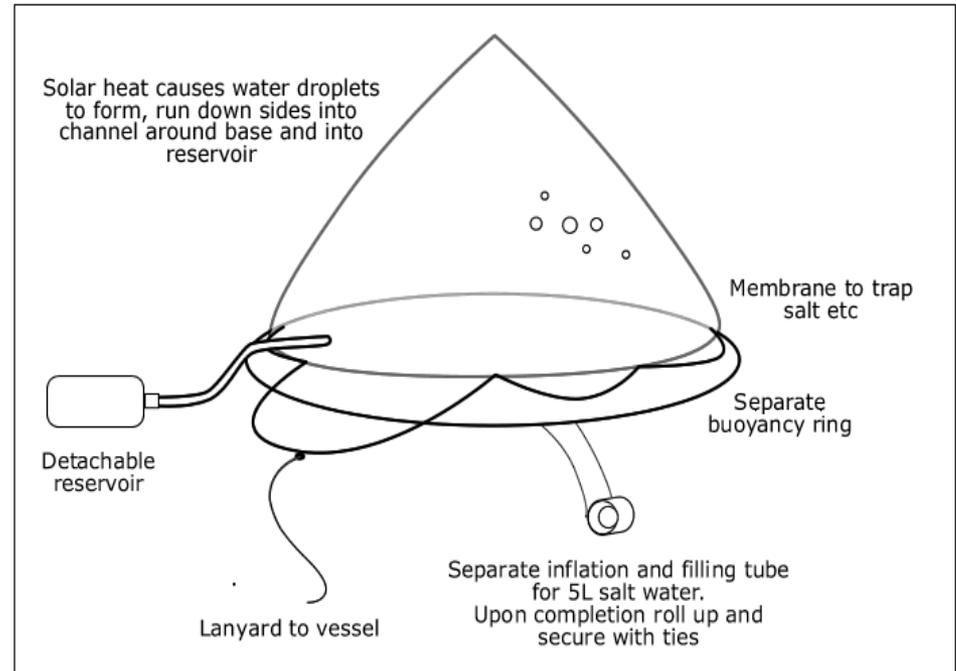
Rsoendahl de RSD Solar Wasser.
Produce de 5 a 20 litros por día
empleando un área de captación de
 2.5 m^2 .



AquaCone. Es un destilador muy ligero y flotante diseñado para destilar agua directamente en espacios acuáticos, ya sea de un lago, un río, el mar o incluso una alberca. Produce 1.5 y 2.5 litros de agua destilada en verano con una superficie de 1.06 m^2 . Su costo es de 200 dls.



Aquamate Solar Still. Produce de 1 a 4 litros por día con un área de captación de 0.06 m². Su costo es de 240 dls.





Análisis de los antecedentes

Los antecedentes encontrados están enfocados en la obtención de agua dulce a partir de agua de mar, empleando un sistema híbrido de humidificación y deshumidificación, es decir, humidifican el aire con agua de mar (al evaporarse separa las sales) para después deshumidificarlo con un sistema de enfriamiento. Con este proceso se obtiene aire frío deshumidificado y agua dulce por el agua condensada, pero debido a que se emplea un sistema de enfriamiento para la condensación del agua, se tiene un consumo de energía alto. El presente proyecto contempla diseñar y construir un prototipo del tipo caseta que permita evaporar y condensar el agua a bajo costo, empleando un sistema adicional de calentamiento.

Diseño del evaporador

Se realizó la prueba exponiendo los tres modelos al sol durante seis días con un periodo de tiempo de 5 hrs., tomando lecturas de temperatura inicial del agua y ambiente interno, temperatura final del agua y ambiente interno y el total de agua recolectada al final de la prueba en gr. Los resultados obtenidos se presentan en las tablas 1 y 2.



Diseño del evaporador

Ángulo	Promedio (gr.)
45°	26.88
30°	23.90
15°	21.18



Diseño del evaporador

Se realizó una segunda prueba tomando en cuenta los dos ángulos que condensaron mayor cantidad de agua en la primera prueba y se incrementó el de 60° .

Ángulo	Promedio (gr.)
60°	19.17
45°	24.83
30°	26.82



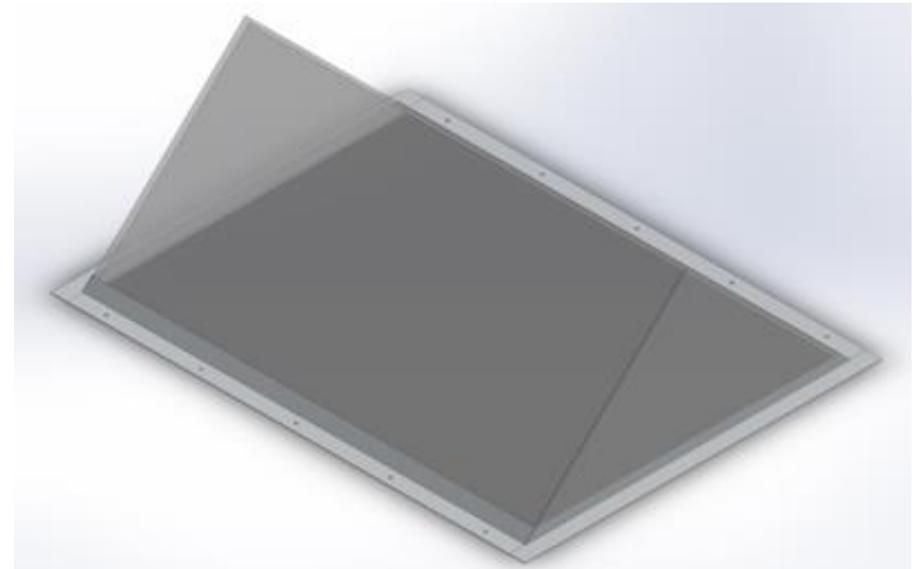
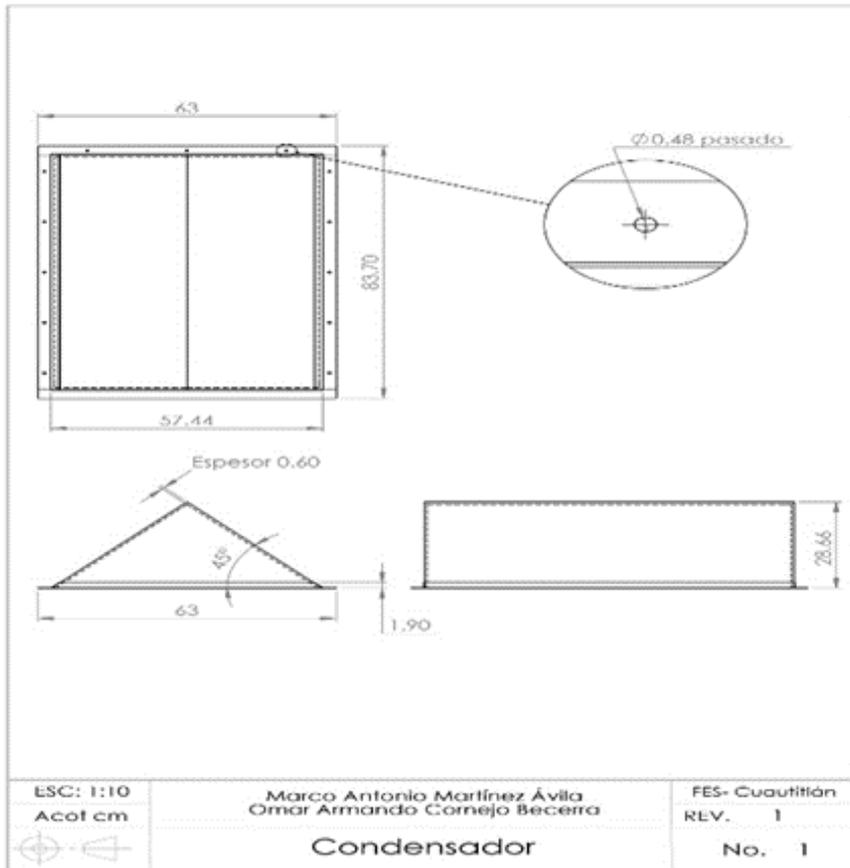


UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



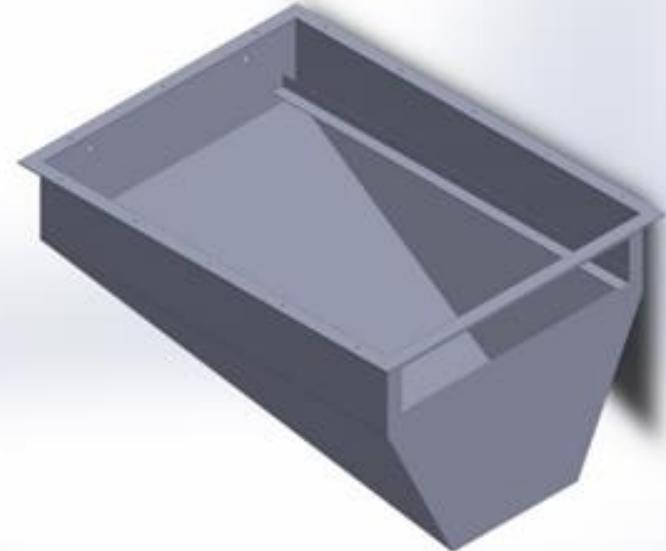
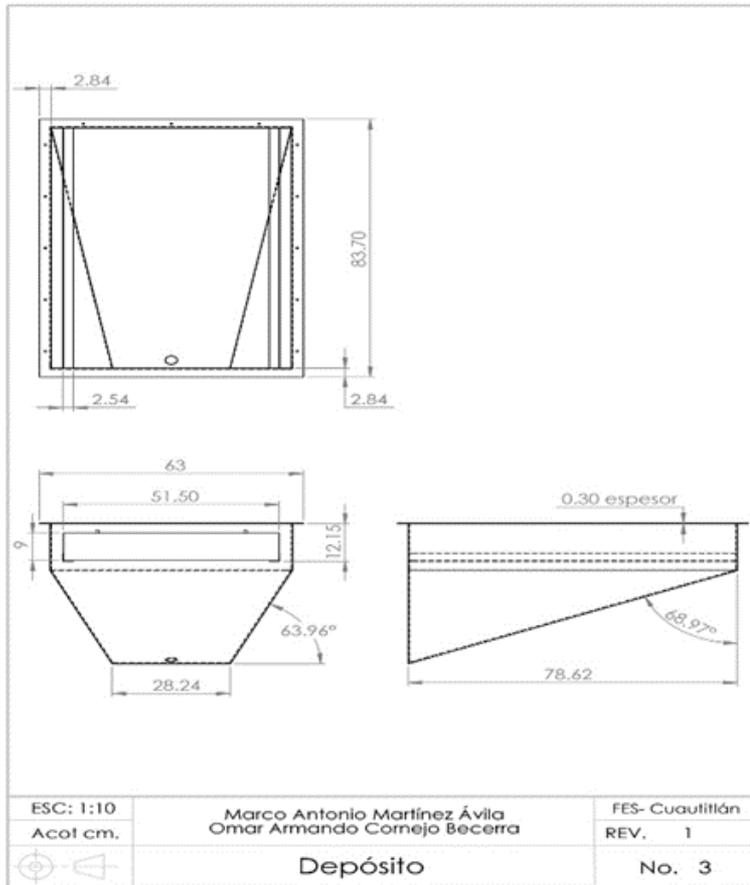
Diseño del evaporador

Con base en los resultados se diseñó el condensador con vidrio de 6mm de espesor y con un ángulo de 45°



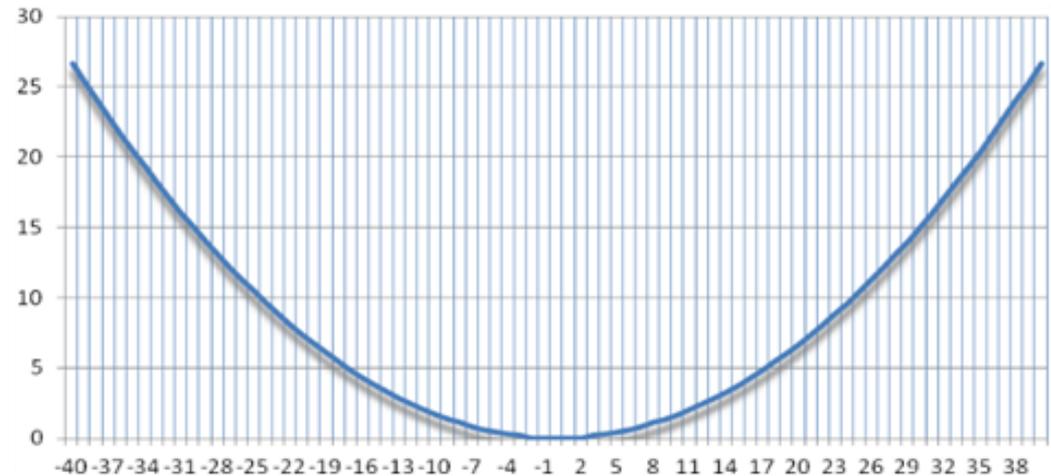
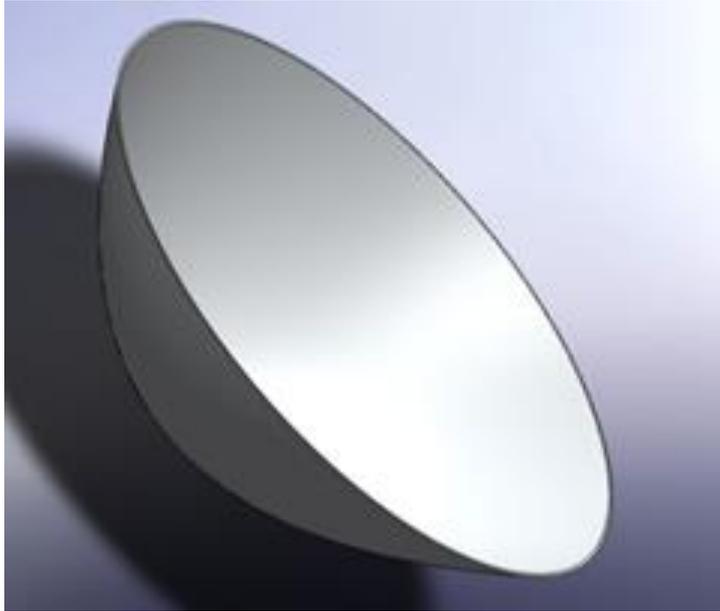
Diseño del contenedor

El depósito tiene un volumen total de 124.06 litros, está diseñado para contener 55.64 litros de agua libre de sales y residuos sólidos. El agua que contiene la charola se evaporará y escurrirá por el condensador llegando a éste.



Diseño de la parábola

Para el cálculo de la parábola se tomó en cuenta que el depósito donde se calentará el aceite, se colocará a 15 cm del vértice, se utilizó la ecuación de una parábola con vértice en $(0,0)$ y foco en $(0,15)$ que es $x^2 = 4py$ y con apoyo del software Excel se obtuvo un parábola de 80 cm de diámetro



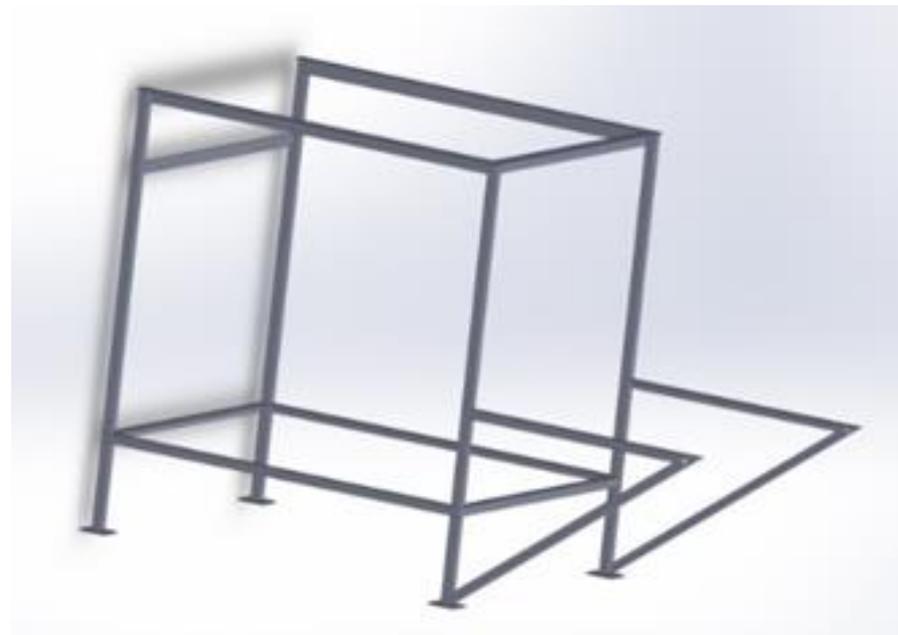
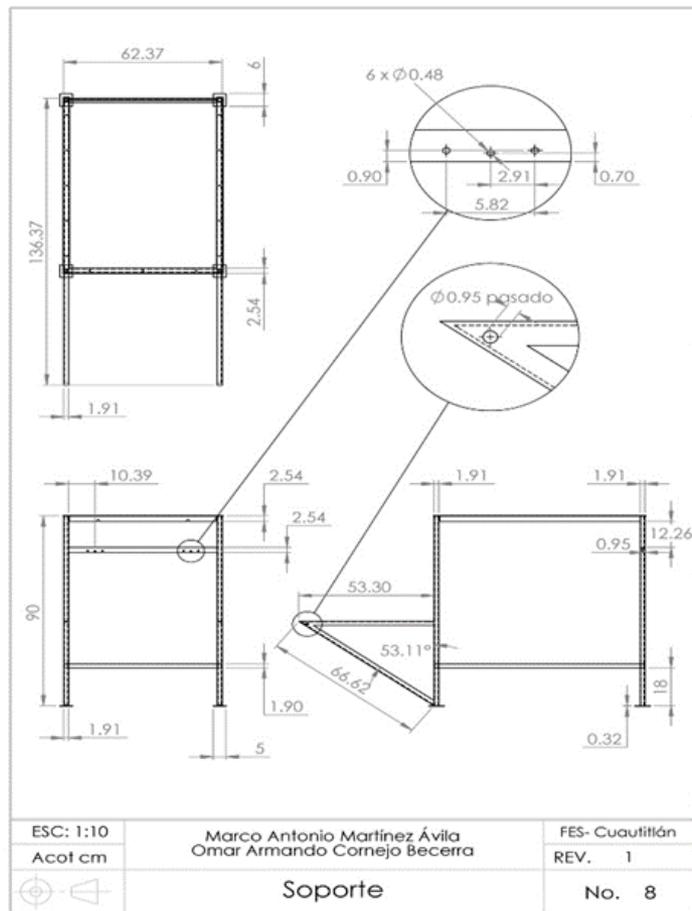


UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Diseño de la estructura

La estructura que sostiene a todos los componentes se muestra en la figura. En la parte superior de la estructura se colocó el depósito junto con el condensador. Por último, para facilitar su traslado y orientación se le colocaron 4 ruedas.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**



"La transición energética
en beneficio de México"
Del 19 al 21 de Octubre



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Evaporador solar

Construcción evaporador



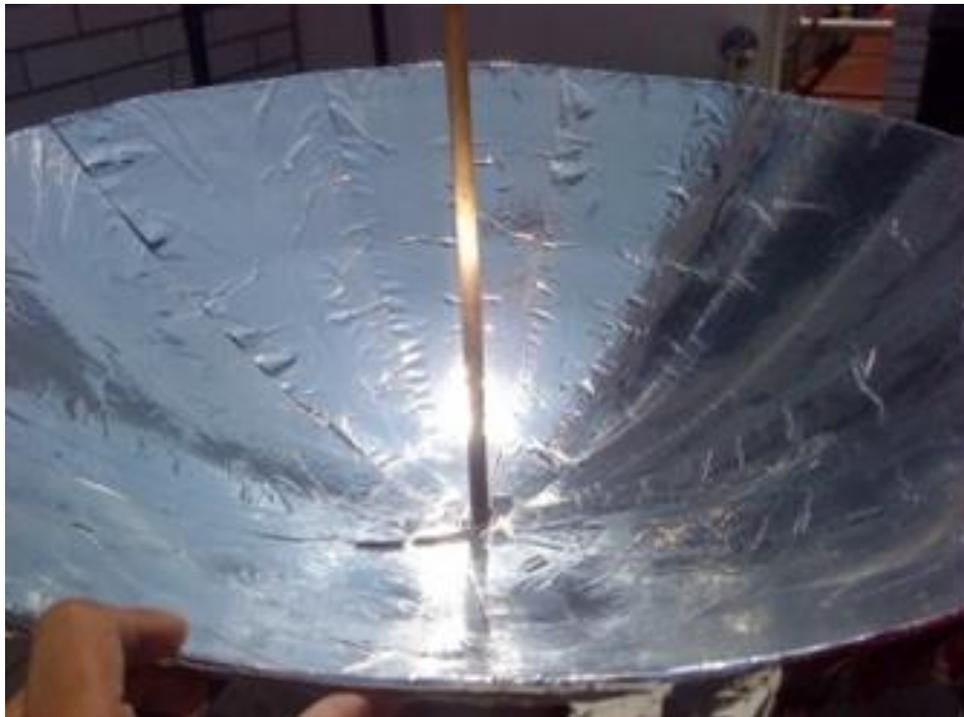
Para la construcción del condensador se cortó una hoja de vidrio de 6 mm de espesor, dos con forma de triángulo equilátero de 57.66 cm de base por 28.66 cm de altura y dos en forma rectangular de 78.02 cm de base por 28.66 cm de altura de acuerdo a las mediadas del diseño. Para asentar el condensador sobre la charola se utilizó lámina de aluminio calibre 20 recortada y doblada en ángulo de acuerdo al diseño. Para evitar fugas, como empaque se colocó hule recortado.

Construcción contenedor



Para la construcción del depósito primero se construyó un molde con material MDF (hoja de fibra de densidad media). Después de realizar todos los cortes, se ensamblaron todas las piezas con pegamento para madera y en los bordes se utilizó pasta para resanar madera. Se le aplicaron 3 capas de cera desmoldante dejando secar la cera durante 15 min entre cada capa. Después se le aplicaron tres capas de gel coat ortoftálico blanco preparado al 2% de catalizador por el total del gel coat y se dejó secar durante 10 min entre una capa y otra. Una vez que el gel coat se secó, se le aplicó la resina preparada al 2% de catalizador y se colocó la fibra de vidrio hasta llegar a tres capas, con la finalidad de asegurar que no existieran fugas en el depósito. Una vez que se secó la resina que se le aplicó junto con la fibra de vidrio, se le retiró el molde de MDF.

Construcción parábola



Se trazó el patrón en papel milimétrico y se pegó sobre una lámina, la cual se cortó de acuerdo al patrón, se le soldó un eje y se le clavaron segmentos de madera como soporte para su fácil rotación. Sobre una base plana de madera se colocó el perfil y se vació una mezcla de yeso con cemento. El perfil se rotó mientras se vertía la mezcla. Una vez seco el paraboloides de cemento y yeso se le aplicaron tres capas de cera desmoldante, tres capas de gel coat ortoftálico blanco y dos capas de fibra de vidrio con su respectiva resina preparada. Para aplicar la película reflejante se utilizó una pistola de calor, agua y una espátula de goma. Se recortaron segmentos en forma de triángulos isósceles, se roció agua en el paraboloides, se colocó la película y con la espátula de goma se pegó uniformemente hasta que quedara cubierta en su totalidad.

Construcción estructura



Para la construcción del soporte se cortaron 4 piezas de PTR de $\frac{3}{4}$ " por 90 cm de largo cada una, 2 ángulos de $\frac{3}{4}$ " por 53.30 cm de largo, 2 ángulos de $\frac{3}{4}$ " por 66.20 cm de largo, 2 ángulos de $\frac{3}{4}$ " por 77.99 cm de largo, 2 ángulos de $\frac{3}{4}$ " por 57.29 cm de largo, 2 ángulos de 1" por 83.03 cm de largo y 1 ángulo de 1" por 62.37 cm de largo. Todas la piezas fueron soldadas de acuerdo al diseño con soldadora de arco, y se utilizaron electrodos 6013 de $\frac{1}{8}$ " y $\frac{3}{32}$ ".



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Evaporador solar



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

2016





Instrumentación

Para la puesta en marcha se instrumentó al prototipo empleando un adquisidor de datos NetDAQ modelo 2640A de la marca Fluke, para recopilar de forma simultánea la medición de las variables involucradas en el proyecto.

Para la conexión de los termopares y del sensor de radiación solar, se colocó cable de par trenzado UTP con conectores SLIM al módulo universal FLUKE. Para facilitar la obtención de datos se manufacturaron termopares tipo K de 1 m de longitud.

Además se colocó un piranómetro modelo SP LITE de la marca Kipp & Zonen para medir la irradiación solar (irradiación) directa que incide en el paraboloide.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Instrumentación



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

2016



2016
CIERMMI
"La transición energética
en beneficio de México"
Del 19 al 21 de Octubre



Pruebas experimentales

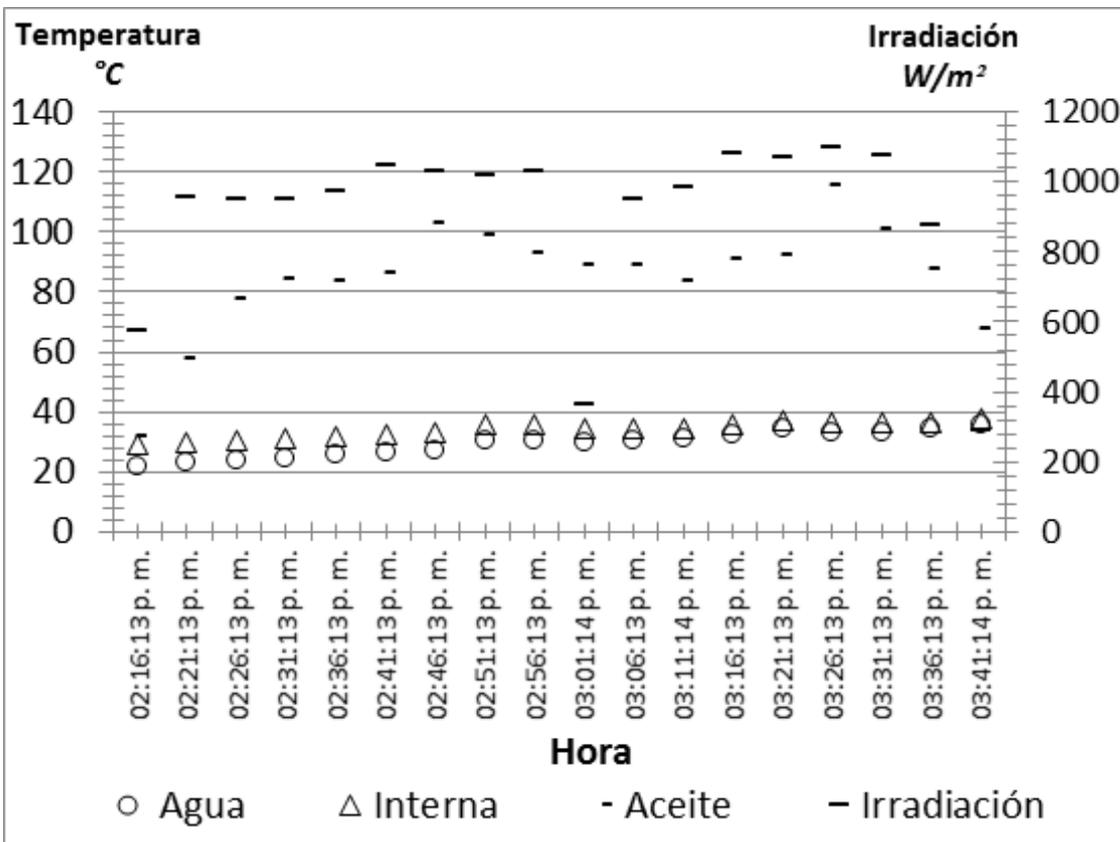
Se realizó una prueba en la cual se buscó de manera empírica conocer el tiempo en el que el aceite caliente del depósito llega al serpentín. Se activó la bomba durante 7 segundos cada 5 minutos y los resultados obtenidos se muestran en las gráficas 1 y 2.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



En la gráfica se observa que en el periodo comprendido entre las 14:16 hasta las 14:36, existe una tendencia ascendente rápida, el aceite va desde 31.74 °C hasta los 84.13 °C y la irradiación va desde los 572.95 W/m² hasta 974.93 W/m², mientras la temperatura del agua comienza a aumentar paulatinamente partiendo de los 21.75 °C hasta los 25.43 °C.



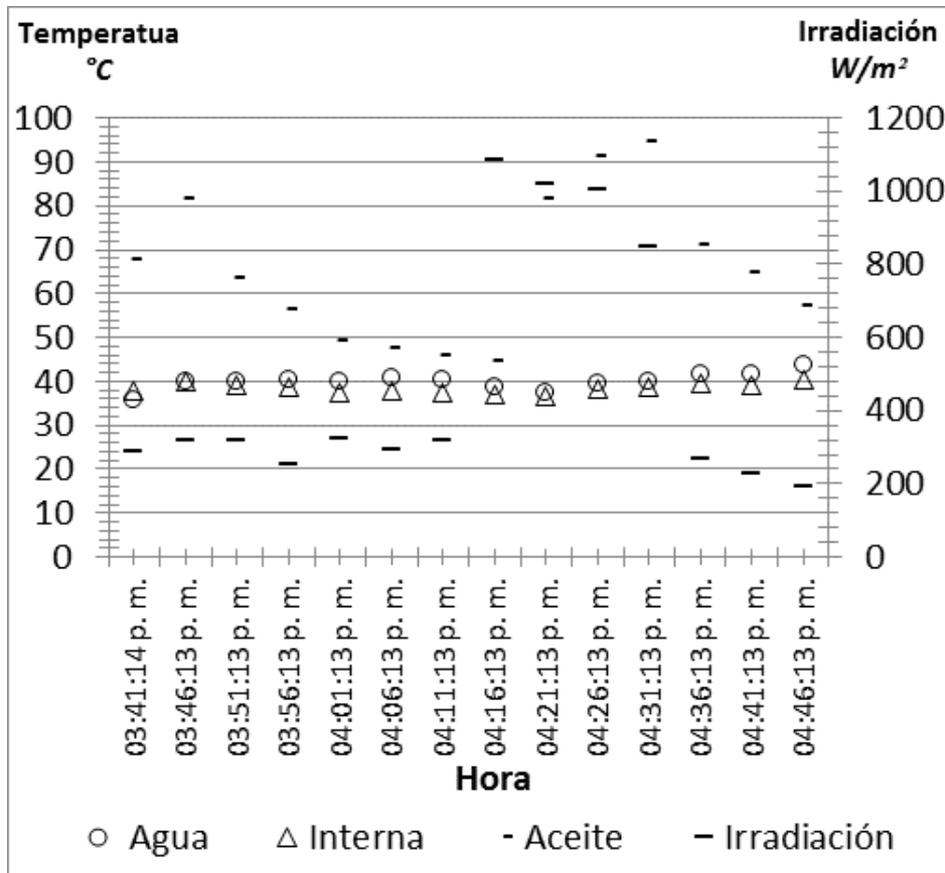
**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

2016

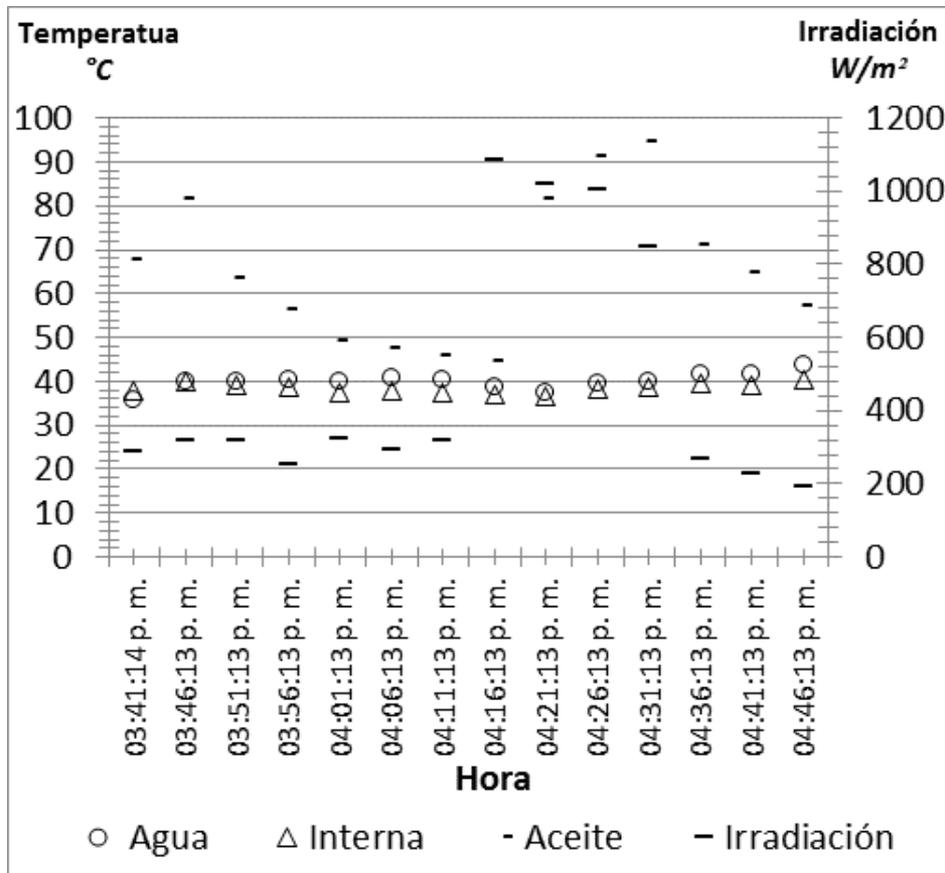


"La transición energética
en beneficio de México"
Del 19 al 21 de Octubre

En el periodo comprendido entre las 17:46 y las 16:11, encontramos una irradiación promedio de 303.96 W/m^2 durante un día nublado. Los valores del aceite tienden a descender, de $81.56 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $45.74 \text{ }^\circ\text{C}$ en el mismo lapso. La temperatura del agua se mantiene entre los $39.93 \text{ }^\circ\text{C}$ y los $40.41 \text{ }^\circ\text{C}$ con un promedio de $40.23 \text{ }^\circ\text{C}$. Entre las 16:16 y las 16:26 horas, se presentó un ascenso rápido en la irradiación, con un promedio de 1035.91 W/m^2 , el aceite muestra una elevación considerable pero gradual desde los $44.68 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta los $91.21 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura del agua muestra una pequeña caída con respecto de la sección anterior, por lo que encontramos un promedio de $38.52 \text{ }^\circ\text{C}$.



Entre las 16:31 hasta las 16:46, se observó otro descenso brusco en la irradiación, de 848.55 W/m^2 a 189.94 W/m^2 . La temperatura del aceite sufre igualmente una caída radical de los $94.58 \text{ }^\circ\text{C}$ a los $57.02 \text{ }^\circ\text{C}$. En la temperatura del agua se aprecia un aumento lento de $39.98 \text{ }^\circ\text{C}$ a los $43.73 \text{ }^\circ\text{C}$. Durante casi todo el periodo existe una elevación de temperatura mayor en el agua con un promedio de $39.98 \text{ }^\circ\text{C}$ con respecto de la temperatura interna, la cual tuvo un promedio de $38.43 \text{ }^\circ\text{C}$. Esto demuestra que el tiempo de bombeo resulto tener un mayor efecto que el anterior, gracias a la ganancia de calor registrada en el agua y su comparación con la temperatura interna.





Concluimos que el tiempo de bombeo de 7 segundos es insuficiente para que el aceite logre el recorrido completo del serpentín.

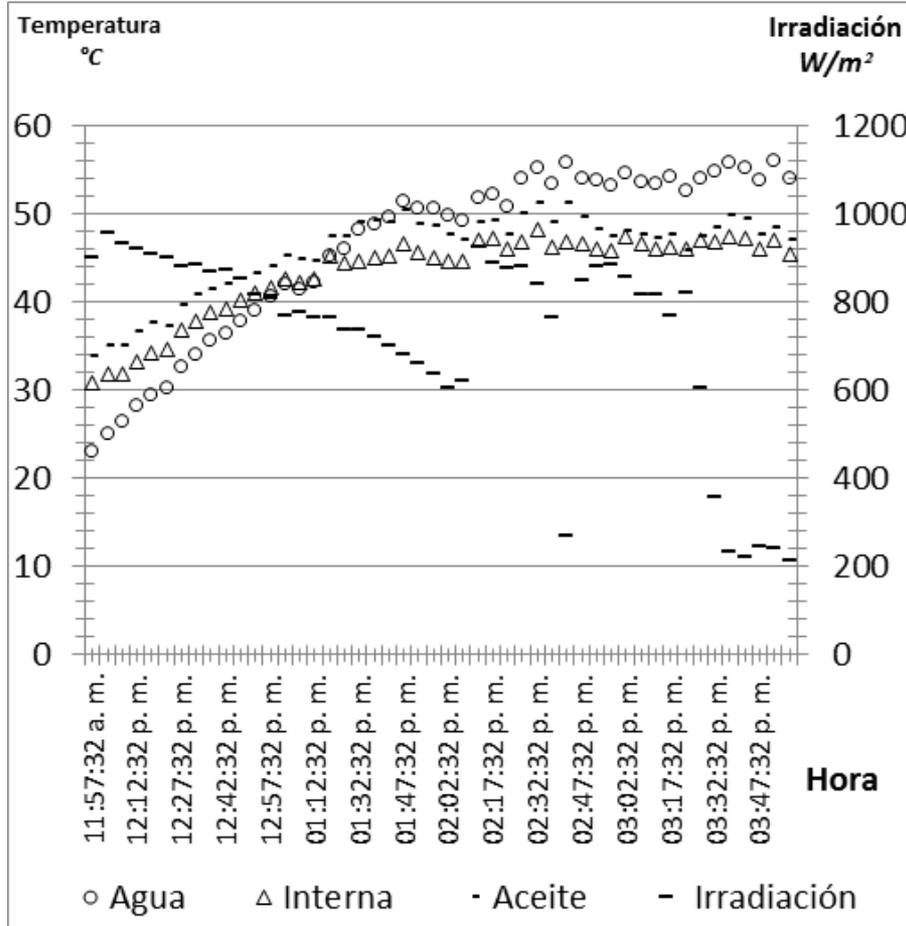
Tiempos de bombeo [s]			
Periodos	Máximo	Mínimo	Promedio
12:41-13:10	19.72	10.49	12.77
13:11-13:40	24.68	13.43	14.03
13:41-14:10	11.48	10.07	11.23
14:11-14:40	15.54	11.34	12.94
14:41-15:11	12.67	12.36	12.52

Se realizó otra prueba para obtener un tiempo promedio para la estabilización de las temperaturas en el serpentín (T_i , T_m , T_f), lo cual dio como resultado que el aceite caliente se encontrara en todo el recorrido del serpentín. Con los datos recabados, se obtuvo un promedio de tiempo de 12.70 segundos para el bombeo.

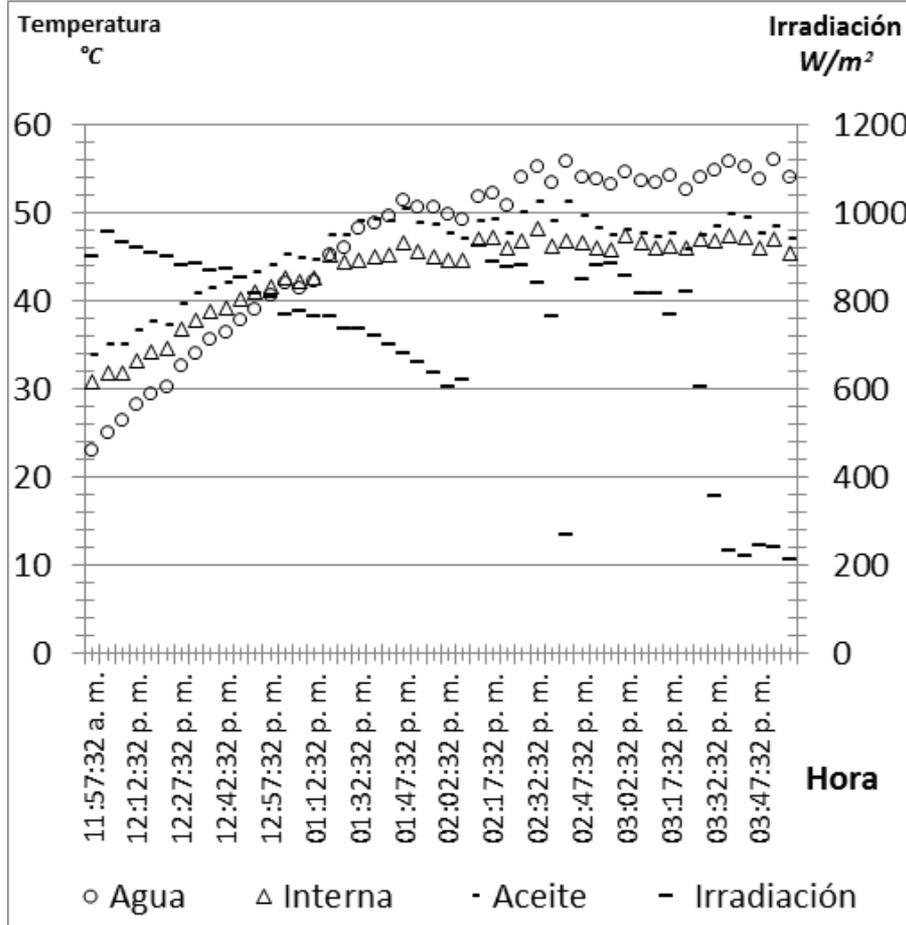


Se realizó otra prueba en la cual se cubrió a la parábola y solo trabajó el efecto invernadero del condensador. Se muestra el comportamiento del desalador expuesto al sol, por un lapso de 4 hrs. y con el paraboloide cubierto. Se le vertieron 5 litros al evaporador.

Se observa que la línea de irradiación es descendente comenzando a las 11:57 am con una irradiación de 898.43 W/m², a las 02:03 pm la irradiación disminuye a los 369 W/m². Este descenso se debe a la llegada de nubosidad durante el día, a partir de las 02:03 pm la constante aparición de nubes hace que la irradiación captada por el piranómetro varíe drásticamente con ascensos y descensos desde los 933 W/m² a los 211 W/m².

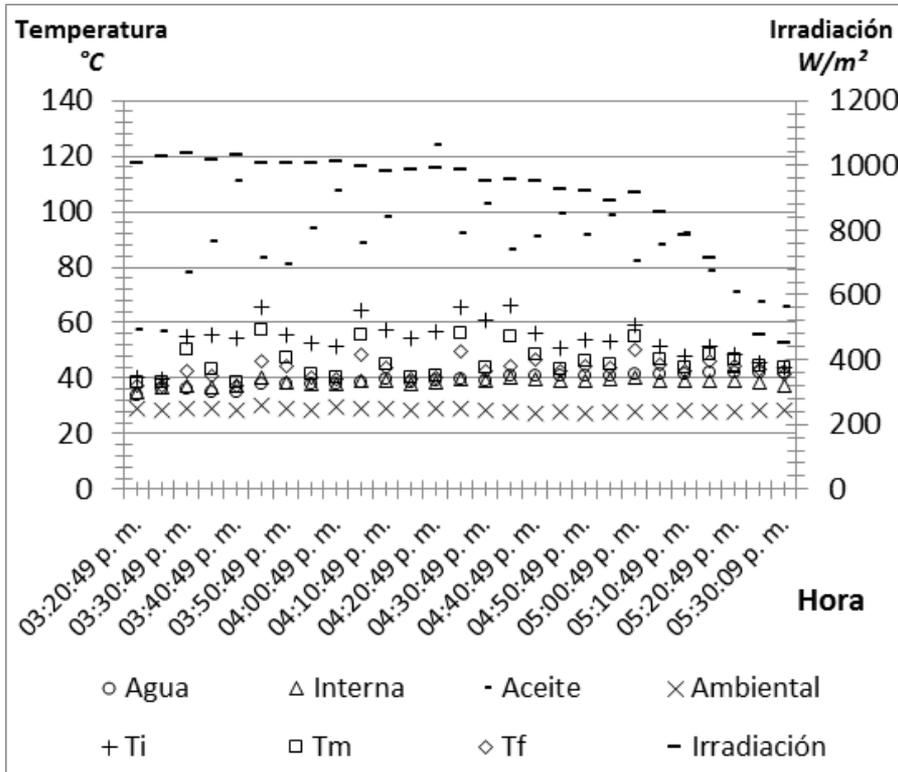


La temperatura ambiente promedio fue de 30.34 °C y se mantuvo estable durante el periodo de la prueba, mientras que la temperatura interna tuvo un promedio de 43.44 °C durante la prueba, demostrando así una ganancia de 13.10 °C en el ambiente interno por el efecto invernadero. El agua parte de 23.02 °C y se eleva hasta los 56.52 °C en un lapso de 3.37 h. El serpentín tiende a adquirir una temperatura similar a la del agua +/- 2.86 °C en promedio durante toda la prueba. A pesar de que la irradiación es baja, la temperatura del agua continua en ascenso, todo esto debido al efecto invernadero que surge dentro del desalador solar. Se obtuvieron 300 ml de agua en 2 horas con 7 minutos.



Se realizó otra prueba en la cual se cubrió al condensador para dejar trabajar al serpentín y parábola.

Se observa la tendencia de las temperaturas del agua e interna en el prototipo, variando entre ellas ligeramente en los primeros minutos de las 15:20 a las 15:52 horas, durante este lapso la temperatura interna (37.76 °C en promedio) estuvo por encima de los valores de la temperatura del agua (36.28 °C en promedio). Mientras el resto del periodo desde las 15:53 horas hasta las 17:27 horas la temperatura del agua (40.42 °C en promedio) se mantuvo por encima de la temperatura ambiente (39.17 °C en promedio)

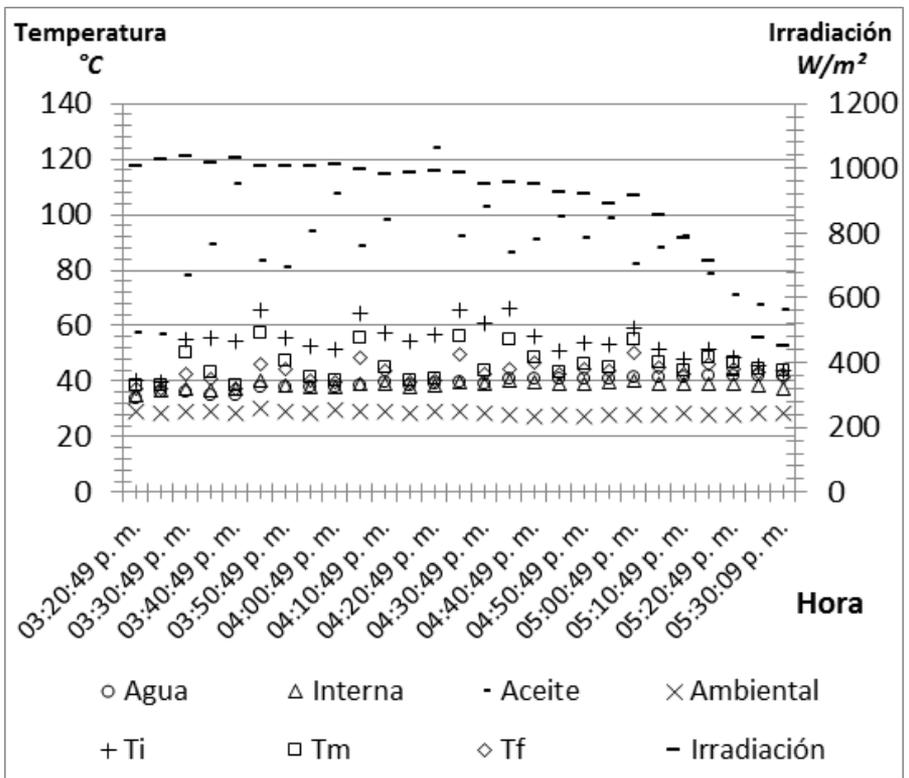




UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



Existe una ganancia de 8.44 °C en la temperatura del agua durante todo este periodo, mientras en la temperatura interna hay una ganancia de 3.88 °C. Se observa que realmente existe una ganancia de calor en el agua gracias al serpentín y una ganancia en la temperatura interna gracias al incremento de la temperatura del agua. Se vertieron 5 litros de agua y se recuperan 500 ml de destilado durante las 2 horas con 7 minutos de prueba.

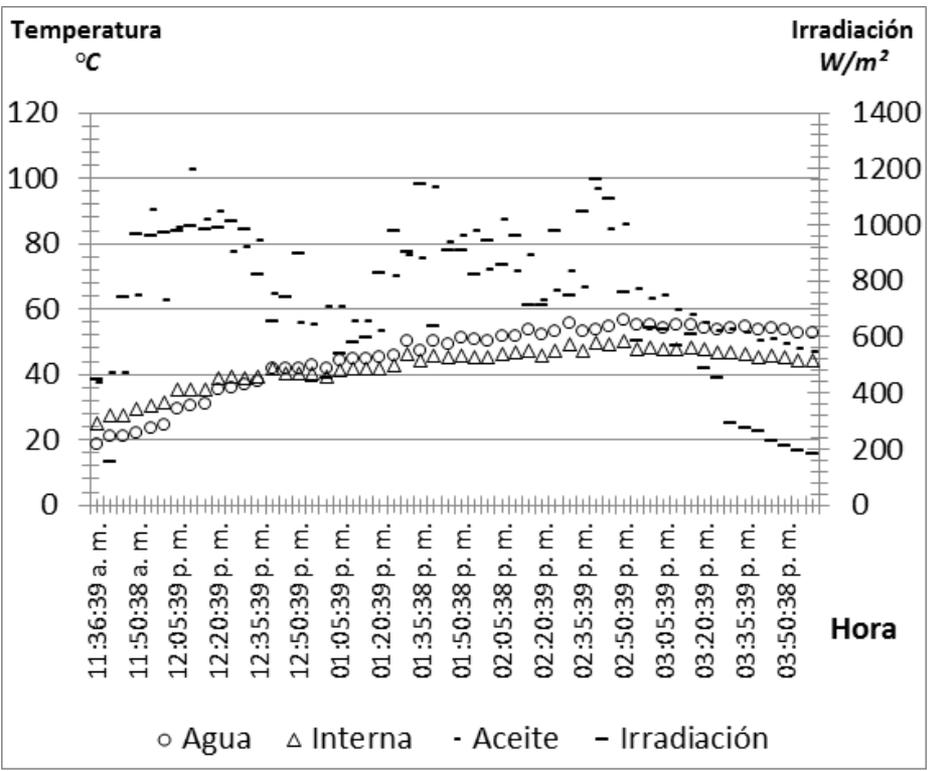


**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

2016
CIERMMI
"La transición energética
en beneficio de México"
Del 19 al 21 de Octubre



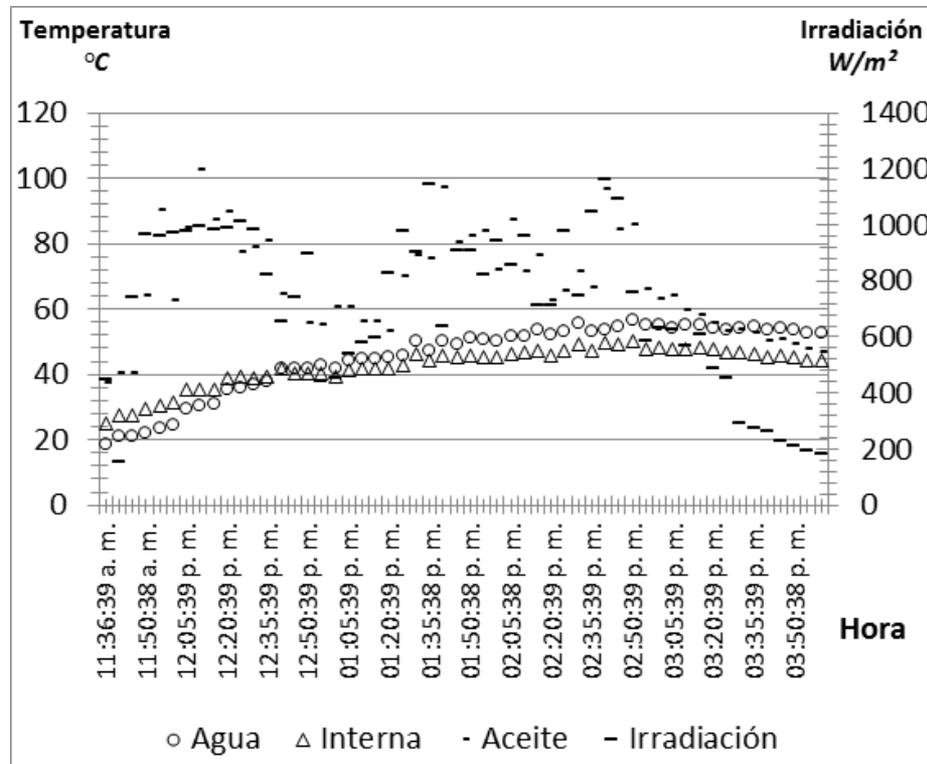
Para realizar un análisis de las temperaturas del agua, interna, aceite e irradiación, se expuso el desalador al sol en un día seminublado por un periodo de 4 h con 24 min con una temperatura ambiental promedio de 27.29 °C, se le vertió 5 litros de agua al evaporador y se estuvo bombeando el aceite por 13 s cada 3.5 min. La irradiación es variable debido al constante paso de nubes, al inicio de la prueba se registra una irradiación de 444.74 W/m² la cual desciende a los 127.12 W/m² a las 11:38 am, posteriormente se nota un incremento y se registra una irradiación de 1025.42 W/m² a las 11:48 am, a partir de ese momento se observa una fluctuación de irradiación hasta las 03:29 pm donde la irradiación comienza a descender paulatinamente y concluir la prueba con una irradiación de 184.56 W/m². La irradiación máxima registrada fue de 1223.38 W/m² a las 02:36 pm y la mínima de 104.80 W/m² a las 11:40 am.



Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática

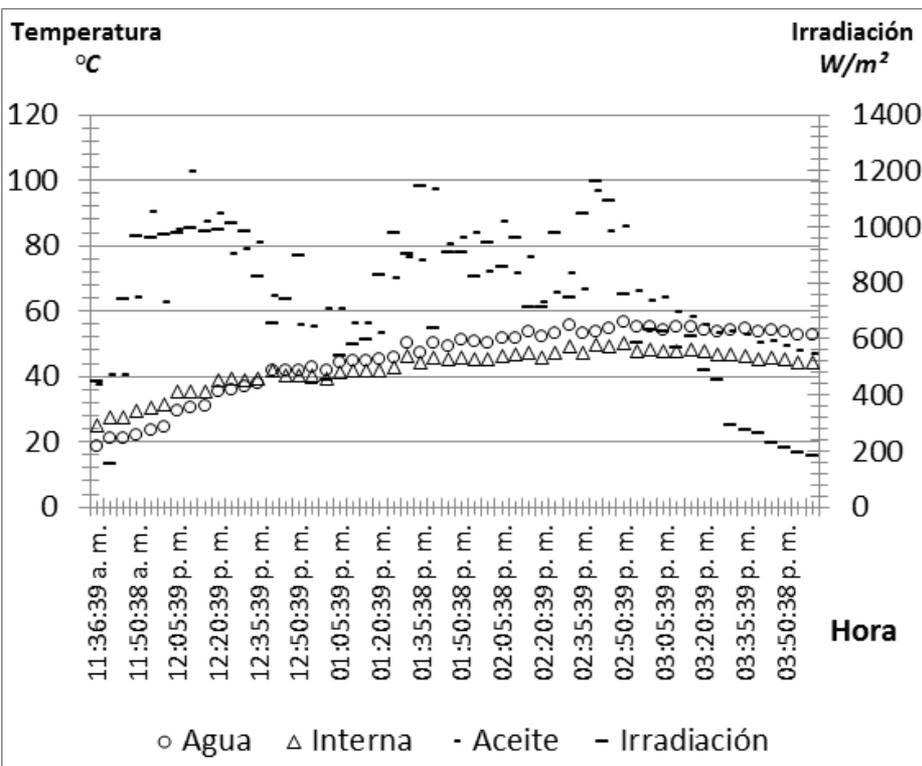


La temperatura del aceite depende de la irradiación solar, al inicio de la prueba el aceite se encuentra a una temperatura de 36.99 °C y en 17 min. se eleva a 94.99 °C , de las 11:53 pm a las 12:32 pm el aceite se mantiene en promedio a los 83.11 °C, a partir de las 12:32 pm la temperatura del aceite comienza a descender y se mantiene en promedio a los 60.08 °C hasta la 1:22 pm. A partir de la 1:22 pm la temperatura del aceite comienza a ascender nuevamente y se observó una fluctuación hasta las 2:44 pm promediando el aceite una temperatura de 77.09 °C, la temperatura del aceite comienza a descender paulatinamente a partir de las 2:44 pm debido a la baja irradiación hasta finalizar la prueba. La temperatura máxima del aceite fue de 108.97 °C y la mínima de 31.85 °C promediando durante la prueba 67.73°C.





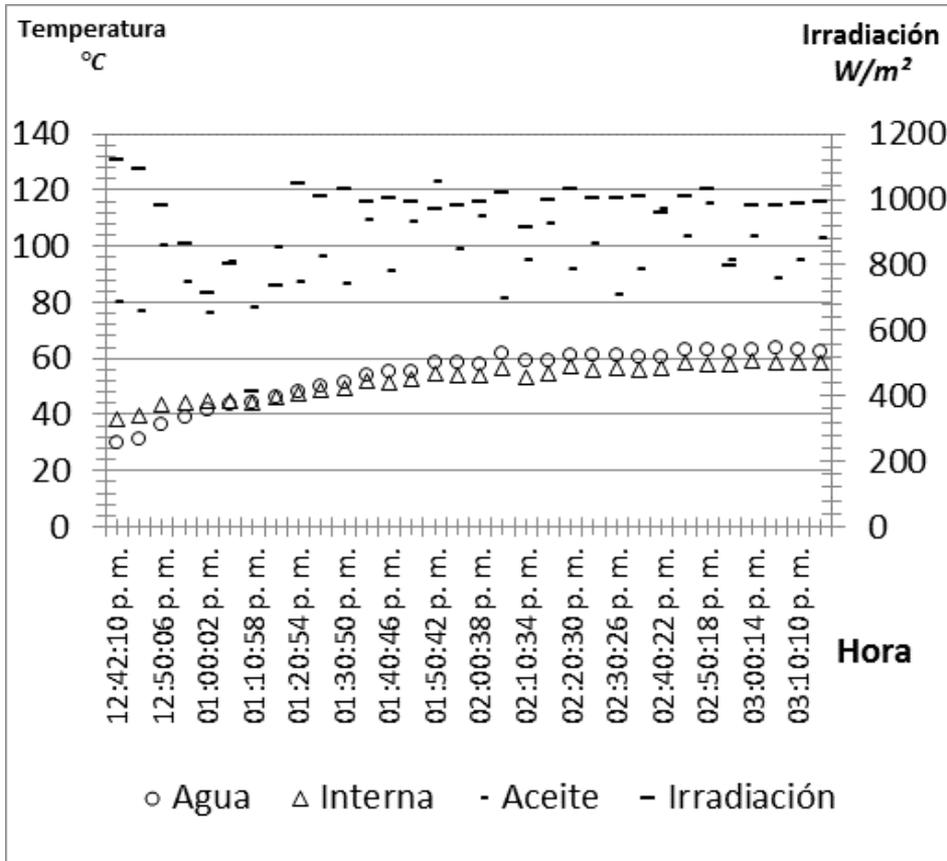
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



La temperatura ambiental interna promedio fue 42.60 °C la cual es en promedio 15.31 °C superior a la temperatura ambiental externa durante la prueba. La temperatura del agua inicial fue de 18.13 °C y se mantuvo en constante aumento durante la prueba, obteniéndose una temperatura máxima del agua de 56.74 °C. Al final de la prueba se recolectaron 823 ml de agua durante las 4 horas con 20 minutos.



Se realizó una segunda prueba durante otro día, pero dejándolo menor tiempo. Durante este periodo encontramos un descenso en los valores de la temperatura del aceite en el depósito con variantes que van desde los 70 °C hasta los 120 °C. En parte también gracias al efecto invernadero se observa que la temperatura del agua y la temperatura interna se mantienen en un estado constante de elevación, en un inicio la temperatura interna es mayor que la del agua (promediando una diferencia de 4 °C), esto hasta las 13:45 horas, tiempo en el que la temperatura de agua sobrepasa a la temperatura interna, siendo de esta manera hasta el final con una diferencia promedio de 3.74 °C. Durante esta prueba se obtienen 743 ml de destilado en un lapso de 2 horas con 29 minutos.



Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática





Conclusión

El desalador se manufacturó con material, equipo y herramienta de fácil acceso para un gran porcentaje de la población lo que da como resultado que sea económico. Su costo fue de \$ 2103.12 M.N. por lo que a comparación de los desaladores solares disponibles en el mercado, de los cuales el de menor costo tiene un valor de \$2600.00 M.N. (considerando el dólar a \$13.00 M.N.) más gastos de envío, es más económico, además de que el diseño puede llegar a tener modificaciones adaptándose al terreno en el que se utilice, lo que repercutiría en el precio del mismo.



Conclusión

Otro de los puntos de comparación es la superficie requerida por cada uno de los equipos presentados. Todos estos equipos fueron diseñados con una superficie mayor a los 0.80 m², mientras el desalador propuesto en este trabajo requiere de una superficie de 0.35 m² de superficie útil.



Conclusión

El agua que se recuperó en un día en óptimas condiciones ambientales es de 149.40 ml/hr. Por lo que puede ser una aplicación viable para su uso en zonas donde el abastecimiento de agua es insuficiente. Comparando la superficie útil con la producción/día de agua obtenemos una relación que compite con los otros diseños, por ejemplo el promedio de agua recuperada durante 10 horas de operación fue de 1.5 litros de destilado por día, lo que equivale a 4.29 l/m², comparándolo contra el AquaCone que produce 1.41 l/m², se observa que el prototipo presenta una mayor eficiencia, esto debido a la funcionalidad de ambos sistemas (efecto invernadero y parábola-serpentín).



Agradecimientos

Agradecemos a la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO por el apoyo recibido durante la realización de este proyecto a través de los programas UNAM-DGAPA-PAPIIT-IT104212 y UNAM-DGAPA-PAPIME-PE101912.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

2016





ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)