



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**DISEÑO DE LA CÁMARA FOCAL DE
EVAPORACIÓN DE UN DESTILADOR DE
AGUA PARA UN CONCENTRADOR SOLAR
DE PARÁBOLA REGLADA.**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE :

**MAESTRO EN INGENIERÍA
(METAL – MECÁNICA)**

P R E S E N T A :

ING. HUMBERTO NERI MONDRAGÓN

TUTOR : DR. MIGUEL DE ICAZA HERRERA



**UNAM
CUAUTITLÁN**

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Miguel de Icaza Herrera

Secretario: Dr. Víctor Manuel Castaño Meneses

Vocal: Dr. Andrés Herrera Vázquez

1^{er}. Suplente: Dr. Enrique Curiel Reyna

2^{do}. Suplente: M. I. Marco Antonio Alarcón Ramírez

Lugar donde se realizó la tesis: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

TUTOR DE TESIS

Dr. Miguel de Icaza Herrera

FIRMA

DEDICATORIAS

A Dios:

Por darme la vida, para lograr terminar otra meta

A mis padres:

Lucia + y José

Por los grandes consejos, motivaciones, cariño, que siempre me brindaron y a quien les debo todo

Mi esposa:

Maria del Carmen +

Quiero dedicar especialmente este trabajo a mi esposa, que siempre estará presente en mi mente y en mi corazón, te recordare siempre

Mis hijos:

Maria Fernanda

José Alberto

Miguel Ángel

Ellos motivan mi ser para seguir mi camino, paso a paso y cumplir en la vida con los retos que a diario nos presenta

A mis Hermanos Y Sobrinos:

Por los momentos agradables, afecto y comprensión que siempre me han brindado

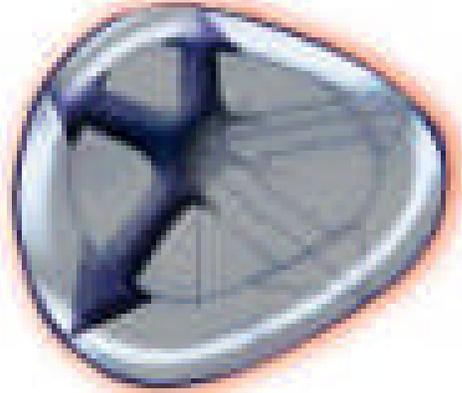
A los amigos

M. A. Juárez A. Molina, J. Pimentel, M. A. Muñoz, R.Barajas, C. Morales, M. A. Rios,
I. Y. Vázquez, F. González....

Gracias a su lealtad inagotable propinando muestras de fe y confianza para llegar al presente.

AGRADECIMIENTOS

A los investigadores de CFATA - UNAM



“Su sencillez ideológica define realidades”

Dr. Miguel de Icaza Herrera

Me es grato decir que el apoyo como asesor y tutor que usted nos brinda para desarrollar y presentar la tesis referida, nos da la seguridad de poder comenzar nuevos objetivos.

La culminación de la presente obra fue posible, gracias a la incesante ayuda otorgada, confiriéndonos sesiones de discusión para ultimar detalles en el trabajo y perfeccionar a la vez el proyecto de un destilador solar, en particular el modelo de la cámara focal.

Pudiendo decir que es un placer interactuar en su equipo.

Las palabras se reducen para definir el reconocimiento que ustedes nos merecen.

Y solo puedo expresarles, Dr. de Icaza, Dr. Castaño; a nombre del equipo de FES-C. Siempre le estaremos agradecidos.

Dr. Víctor Manuel Castaño Meneses

Gracias por su asesoría y tutoría otorgadas de manera consistente, a los apoyos y ánimos concedidos para desarrollar el modelo del destilador solar y a las orientaciones brindadas de cómo realizar el proyecto de tesis de maestría; le estoy agradecido.

Dr. Héctor Enrique Curiel Reyna

Por la confianza de integrarme a un proyecto que hoy inicia otra fase; Gracias por sus consejos y su valiosa cooperación para seguir siempre adelante y cumplir dignamente la meta anhelada, como hoy es la culminación de la tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, al Instituto de Física Aplicada y Tecnología Avanzada en Juriquilla, Querétaro. Por permitir realizar los estudios y proyecto de maestría.



A los Profesores de FES-Cuautitlán

J. J. Contreras, A. Aguilar, F. Gutiérrez, J. De la C. Hernández, J. R. Garibay, C. Rodríguez, M. De N. Pineda, R. Ramos, J. L. Hernández, M. A. Alarcón, J. Altamira, R. Medina, C. S. Moreno, J. Romero, J. Fuentes, ...

Por su impulso indiscutible en el desarrollo académico mostrado.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. CÁMARA FOCAL	4
2.1 Modelo exploratorio de la cámara focal	5
2.2. Modelo 1 de la cámara focal	7
2.2.1 Modificación al modelo 1 de la cámara focal	10
2.3 Modelo 2; cámara focal de tubo capilar	11
2.4 Modelo 3; cámara focal de tubos paralelos con pared de contacto térmico	12
2.4.1 Modificación 1 al modelo 3 de la cámara focal	13
2.4.2 Modificación 2 al modelo 3de la cámara focal	14
2.5 Modelo 4; diseño y fabricación del 4° modelo de la cámara focal	15
2.5.1 Modificación 1 al modelo 4 de la cámara focal	16
2.5.2 Modificación 2 al modelo 4 de la cámara focal	17
2.5.3 Modificación 3 al modelo 4 de la cámara focal	18
3. ETAPAS DE LA CÁMARA FOCAL	19
3.1 Alimentación	20
3.2 Recuperación de vapor	21
3.3 Rechazo	21
4. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA A LO LARGO DE LA CÁMARA	22
4.1 Análisis térmico de la cámara focal	28
4.2 Concentración de energía en la cámara	28
5. EVALUACIÓN DE LA CÁMARA FOCAL DE EVAPORACIÓN	29
5.1 Variables climáticas	29
5.1.1 Temperatura	29
5.1.2 Radiación solar	30
6. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LA CÁMARA FOCAL DE EVAPORACIÓN	31
6.1 Balance energético	32
6.2 Energía en la cámara focal	32
6.3 Radiación de Stefan – Boltzmann	34

7. EXPERIMENTACIÓN

7.1 Montaje de modelo uno de la cámara focal y el concentrador, conformando un destilador solar	35
Experimento I	
Experimento II	37
Experimento III	38
7.2 Conformación del modelo dos de la cámara focal	39
Experimento IV	
7.3 Conformación del modelo tres de la cámara focal	39
Experimento V	
Experimento VI	41
7.4 Comportamiento térmico del destilador	42
Experimento VII	
7.5 Destilador solar con el modelo tres de la cámara focal modificado	45
Experimento VIII	47
7.6 Simulación del calentamiento solar aprovechando la combustión de gas LP en la cámara focal	
Experimento IX	49
Experimento X	51
Experimento XI	54
Experimento XII	56
Experimento XIII	58
Experimento XIV	59
Experimento XV	61
7.7 Montaje del destilador, aprovechando la energía solar en el modelo cuatro de la cámara focal	62
Experimento XVI	
Experimento XVII	64
7.8 Montaje del destilador solar aplicando el modelo tres de la cámara focal, acoplado con una bomba eléctrica	65
Experimentación XVIII	
Experimentación XIX	66

8. EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL DESTILADOR	67
Tabla (a) temperatura	67
Tabla (b) concentrador	68
Tabla (c) cámara	69
9. CURVAS DE LA EVALUACIÓN ENÉRGICADEL DESTILADOR	
9.1 Curvas de la tabla experimento XIX (a)	70
9.2 Curvas de la evaluación energética del concentrador	76
9.3 Curvas de la evaluación energética de la cámara focal	80
9.4 Curvas del destilador	85
9.5 Tabla de experimentos (Tablas experimentos V, VI, VII y VIII)	86
9.6 Tablas de experimentos de simulación del calentamiento solar aprovechando la combustión de gas LP en la cámara focal	90
9.7 Tablas del destilador (experimentos XVI, XVII y XVIII) utilizando energía solar	94
CONCLUSIONES	96
BIBLIOGRAFÍA	98

1. INTRODUCCIÓN

Hay un gran interés en aprovechar otras fuentes de energía para complementar las convencionales como el petróleo, el carbón, el gas natural y la madera, que han crecido prácticamente en todos los países industrializados tanto por razones económicas como ecológicas. Es imperativo el desarrollo de nuevas alternativas energéticas, que sean menos agresivas contra el ambiente. Antes de que las fuentes de energía no renovables se agoten, es necesario aumentar el uso de la energía solar, fuente energética alternativa, que no requiere de alta tecnología. Este tipo de energía ha sido investigado en países como Estados Unidos, Rusia, Japón, Alemania Occidental, Israel y Francia¹.

El actual esquema de consumo energético, tanto en México como a nivel global, simplemente no es sustentable, es decir, no puede mantenerse indefinidamente sin amenazar su propia existencia. Por esta razón se plantea el uso de energía solar aprovechando diferentes principios de conversión térmica mismos que darán lugar a desarrollar tecnologías diversas, alguna de ellas no se han desarrollado por no cumplir con los requerimientos técnicos o simplemente por razones económicas. La utilización de la energía solar, aprovechada correctamente resulta atractiva en múltiples aplicaciones.

Nosotros hemos pensado en la posibilidad de utilizar la energía solar para destilar agua. La utilidad de este proyecto no sólo contempla el tratamiento de aguas contaminadas, sino también la producción de agua dulce a partir del agua del mar, resolviendo así problemas no solo nacionales, sino de envergadura mundial.

La destilación del agua con ayuda de la radiación solar es el sistema que a futuro nos puede proporcionar más beneficios con respecto a costos.

Conviene notar, por otro lado, que este tipo de dispositivo utiliza la energía térmica proveniente del Sol en la forma en que nos llega, es decir, sin ser transformada en energía mecánica, no estando entonces limitada por los severos requisitos que impone la segunda ley de la termodinámica.

¹ Energía Solar Aplicaciones Practicas. Hans Rau; Ed. Marconbo – Barcelona

El equipo que hemos diseñado tiene por objeto producir agua destilada, no agua caliente o vapor. Por tal motivo, el agua una vez evaporada se hace recircular de manera que ceda parte de su calor al agua que va entrando. El comportamiento ideal consiste en producir agua destilada a la misma temperatura del agua que se procesa. Añadimos un dispositivo que diseñamos para la retención de los sedimentos. Este destilador solar requiere de un concentrador parabólico y un heliostato cuya orientación servo-controlada siga el movimiento del sol en la localidad donde se instale.

La energía proveniente del Sol se concentra mediante un sistema óptico que consiste en un espejo plano y de uno parabólico reglado. Aquél está animado de un movimiento de relojería que le permite seguir la trayectoria del Sol durante el día.

La cámara focal esta dispuesta a lo largo de la recta focal del espejo parabólico. La luz que proviene del Sol se refleja en el espejo plano hacia el espejo parabólico, mismo que los concentra en la cámara focal. No toda la energía solar que incide sobre el espejo plano se refleja hacia el espejo parabólico. Parte es absorbida por el mismo, dando lugar a un incremento en su temperatura.

Este fenómeno sucede por la calidad de acabado del espejo parabólico.

Otros factores que intervienen en el aprovechamiento de la energía solar son las eficiencias:

- *La eficiencia del servomecanismo* que realiza el seguimiento del Sol a lo largo de su trayectoria cotidiana, mismo que nos permite concentrar los rayos solares en la cámara focal
- *La eficiencia de reflexión* de la energía que llega al espejo parabólico hacia la línea focal, misma que podemos medir mediante el correspondiente coeficiente de reflexión del espejo parabólico.
- *La absorbancia* del material que se utiliza en la base de la cámara. La absorbancia, definida como la fracción de la energía solar incidente que es absorbida, es una característica del material que depende también de su acabado y de la temperatura de trabajo
- *Absortividad*. Propiedad del material que se utiliza para retener la radiación solar y una baja emitancia.

Emitancia. Razón de radiación emitida por la superficie de un cuerpo a la radiación emitida por un radiador perfecto a la misma temperatura.

En los absorbedores se emplean superficies selectivas para lograr eficiencias térmicas más altas, con un alto grado de *absortividad* y *emitancia* que son características básicas que debe cumplir el absorbedor.

Podemos observar que los materiales utilizados para el aprovechamiento de la energía solar son de dos tipos.

A.- Destinados a formar parte de los concentradores solares, como pueden ser el vidrio, el plástico, o las láminas metálicas absorbentes.

B.- Para conservar la energía absorbida, logrando de esta forma una construcción aislada técnicamente del exterior. En este último caso tenemos las lanas de vidrio, o fibras vegetales, los hormigones ligeros y las materias plásticas aislantes, así como otras superficies selectivas que tengan un amplio intervalo de temperaturas de operación.

Pueden emplearse varios tipos de recubrimientos con pintura negra, con una temperatura hasta de 80°C . El cromo negro es un elemento que al ser depositado suele ser el más utilizado y con más éxito dentro de la variedad de recubrimientos producidos por técnicas de conversión química y electro-depositados. Cuando se requiere trabajar a temperaturas entre 250°C y 700°C , se han desarrollado películas de carburos metálicos, combinaciones de cerámica y metales, capas múltiples de silicio estabilizado fabricadas por deposición química de vapores y cobalto negro. Para temperaturas mayores que 700°C . Se han investigado pinturas refractarias no selectivas y recubrimientos oxidados de acero o aleaciones, que puedan cumplir con las exigencias de almacenar al máximo la energía solar.

En la evaluación de la cámara focal se deben tomar en cuenta, la vida útil de los materiales que la componen, así como los aditamentos que la conforman, evitando la degradación de los mismos. A fin de dar mantenimiento y conservar el rendimiento óptimo del sistema destilador.

CÁMARA FOCAL

La cámara que hemos diseñado para capturar los rayos solares previamente “concentrados por el paraboloide” tiene una geometría especial, con una sola pared de contacto dentro de la cavidad, que nos permite disminuir pérdidas por convección con el medio ambiente, esta además va cubierta con, un recubrimiento de fibra de vidrio, una capa de pintura negra y al final una lámina de aluminio para protegerla del medio ambiente.

La figura 2.1 muestra una sección transversal del concentrador de parábola reglada y de la cámara focal. La curva MVN es el arco de parábola, V su vértice y F su foco. Hemos seleccionado la longitud de la lámina, de manera que al tomar la forma parabólica, los puntos MFN caigan en una misma recta. La distancia FN, como se sabe, se llama “Lado Recto”, mientras que la distancia desde F hasta V, se conoce como distancia focal. Puede verse que el ángulo MFV, representado por alpha en la figura, es recto. Habiendo seleccionado una distancia focal de 109 mm, el doble del lado recto resulta ser 436 mm. Hemos trazado un círculo centrado en el punto F que representa la “cámara focal”. El concentrador, una vez que el plano NFM se ha colocado perpendicularmente a los rayos provenientes del sol, presenta una superficie total de 436 mm x 500 mm, reflejando los rayos solares hacia su foco, donde se encuentra la cámara focal.

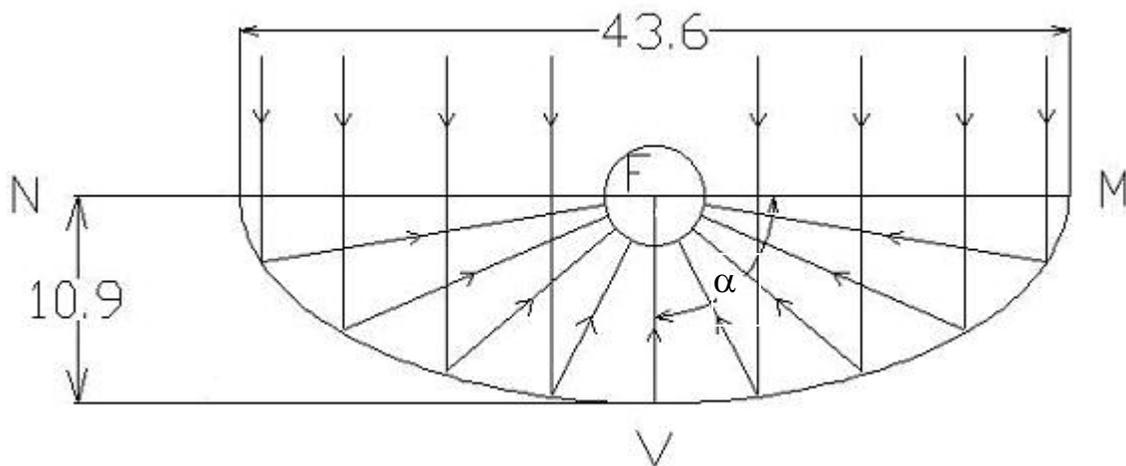


Figura 2.1 Posición de la cámara focal. Se muestra la reflexión de la luz solar proveniente del concentrador parabólico hacia la línea focal, donde la cámara los aprovecha en toda su longitud, con el fin de interceptar la mayor cantidad posible de la radiación solar provocando así la evaporación del agua

2.1 Modelo exploratorio de la cámara focal

Para el diseño del modelo exploratorio de la cámara focal, hemos adoptado los siguientes valores numéricos de los parámetros de diseño del concentrador¹.

- 1.- La distancia focal es la distancia del concentrador al foco del paraboloide de 10.9cm
- 2.- La superficie del paraboloide se obtiene de una lámina cuadrada de 50 cm de lado.
- 3.- Para el ángulo de apertura, adoptamos el valor de 90° (figura 2.1).
- 4.- En estas condiciones el diámetro de apertura coincide con el doble del “lado recto” de la parábola, es decir, $2lr = 43.6\text{cm}$
- 5.- La incidencia de los rayos solares en la tierra presenta un ángulo $\theta = 32\text{ minutos}$
- 6.- Longitud efectiva de la cámara focal la consideramos como 50cm
- 7.- El área de la ventana donde se concentran los rayos solares que inciden en la cámara varía de acuerdo a la cámara utilizada, en esta versión presenta una área en el absorbedor de 4.76 E-3 m^2 y corresponde al modelo 3 de cámara; ya que se realizó la medida real en la misma, obteniendo el ancho de la línea focal de 2 mm .
- 8.- El área eficaz del concentrador paraboloide es 0.215 m^2 .

Este modelo exploratorio de la cámara focal se fabricó a partir de un tubo de cobre de 13mm de diámetro y 1170mm de longitud; en él acoplamos una serie de seis válvulas de paso separadas cada una de ellas 100mm (cf. fig. 2.2), donde alojaremos el mismo número de termómetros para registrar su temperatura..



Figura 2.2 cámara focal con seis válvulas de paso, separadas diez centímetros una de otra.

¹ Capitulo 3 tesis Diseño de un concentrador solar parabólico de un destilador de agua. UNAM

Con la finalidad de simular el calentamiento solar, aprovechamos la combustión de gas LP en el calentamiento del agua.

Iniciamos este experimento con el llenado de la cámara, suministramos agua con colorante desde el contenedor por la parte inferior de la misma, nivelamos la altura (h) entre el contenedor y la columna de agua a un 1 metro (cf. fig. 2.3).



Figura 2.3 Cámara focal y su montaje. El agua se alimenta por la parte inferior, mediante la diferencia de presiones. Esta cámara focal utiliza un quemador de gas.

En esta simulación realizada de calentamiento de agua dentro del tubo experimental, desde la temperatura ambiente y hasta la temperatura de evaporación no se pudo controlar el flujo. El incremento de temperatura en el tubo produce vapor que se mezcla con el agua que éste contiene y en determinado momento ambos son expulsados por la parte superior del tubo, también se presentó un retroceso del agua caliente al recipiente.

Con este experimento exploratorio procedimos a diseñar el primer modelo de la cámara focal.

2.2. Modelo uno de la cámara focal

Los materiales y accesorios que se proponen en este modelo son dos tubos de cobre para confeccionar el cuerpo principal de la cámara, uno de 500 mm de longitud y diámetro de 25 mm y otro de 800 mm de longitud y diámetro de 13 mm; mismos que soldamos longitudinalmente, acoplando en el tubo de alimentación una válvula check y en la salida del tubo focal una válvula de alivio seguida de la trampa de vapor (cf. fig. 2.4)



(a)



(b)



(c)



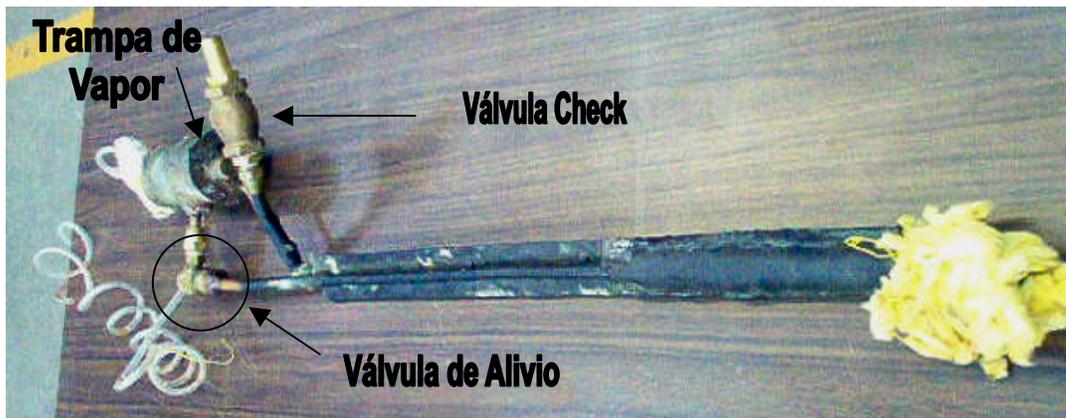
(d)

Figura 2.4. Las imágenes (a, b) muestran los tubos de cobre empleados en la fabricación de la cámara focal, se puede apreciar en la parte inferior de la imagen (b) el maquinado al tubo de alimentación y en la parte superior el tubo que se le soldará. La imagen (c) presenta la válvula de alivio y la trampa de vapor en la imagen (d).

Terminado el modelo uno, preparamos el recubrimiento que alojará la cámara, se compone de una capa de fibra de vidrio cubierta con una lámina de aluminio (cf. fig. 2.5).



(a)



(b)

Figura 2.5. La imagen (a) muestra la camisa térmica, compuesta con fibra de vidrio y una cubierta externa de aluminio, la imagen (b) presenta el modelo uno de la cámara focal con sus accesorios (válvula de alivio, check y trampa de vapor).

Terminado el modelo uno montamos e iniciamos el llenado de la cámara, este se realiza por diferencia de presión existente en el contenedor de agua. Señalamos en el dibujo el flujo por una serie de flechas; también podemos observar todos los aditamentos que conforman dicha cámara y a la vez como están interconectados, deposito, válvula check, válvula de alivio, trampa de vapor y tubería (cf. fig. 2.6).

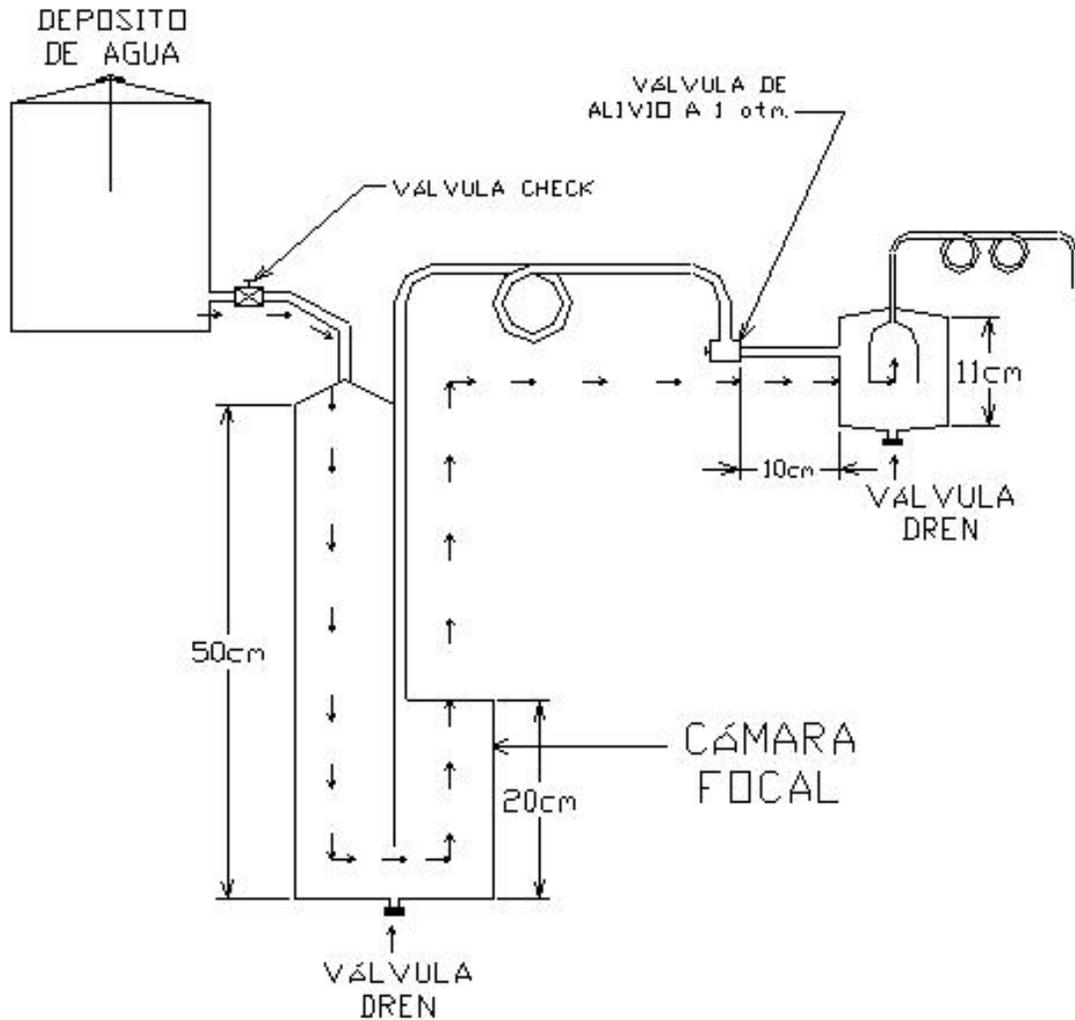


Figura 2.6. Montaje experimental del modelo uno de la cámara focal. El flujo de agua se muestra por medio de flechas la trampa de vapor incluye en su interior una campana y en la parte inferior una válvula para drenar. Se pueden apreciar las medidas del cuerpo de la cámara así como la altura de la trampa de vapor.

2.2.1. Modificación al modelo uno de la cámara

Soldamos un tubo de cobre entre la trampa de vapor y la línea de alimentación (cf. fig. 2.7), a manera de precalentar el agua que llega a la cámara; utilizando el agua caliente que pudiera almacenar la trampa de vapor y que solo expulse el vapor generado en su interior, condensándose durante su trayecto a un recipiente.



Figura 2.7. Modificación al modelo uno de la cámara focal. En la imagen de la fotografía se puede apreciar la conexión entre la trampa de vapor y la línea de alimentación que señalamos con una flecha.

2.3. Modelo dos: Cámara focal de tubo capilar

La nueva versión de la cámara, ahora presenta dos tubos soldados longitudinalmente de 3/8 y 1/8" de diámetro. El tubo focal, de menor diámetro se conecta en un costado de la trampa de vapor, misma que incluye en la parte superior un tubo utilizado como salida, y esta se acopla con otro tubo al de alimentación, incluyendo un tubo en la parte superior como salida (cf. fig. 2.8).



(a)



(b)



(c)

Figura 2.8. Cámara focal de tubos paralelos soldados longitudinalmente. Las imágenes de las fotografías (a, b), muestran la parte superior de la cámara, acoplada a la trampa de vapor. En un costado conecta al tubo focal, de lado opuesto al tubo de alimentación, la imagen de la cámara terminada se muestra en (c).

Con este modelo la cámara focal dificulta su llenado, mismo que forzamos aspirando el tubo superior de la trampa de vapor; el aumento de temperatura en la cámara, genera un flujo intermitente y decidimos terminar la prueba.

2.4. Modelo tres: Cámara focal de tubos paralelos, con una pared de contacto térmico

Fabricamos el modelo tres de la cámara focal. Acoplando dos tubos longitudinalmente. Donde llega la alimentación un tubo de 1 pulgada, el tubo focal conectado en la trampa de vapor es de $\frac{3}{8}$ de diámetro; interconectamos un recipiente al cual llamamos tanque de alivio, desde la trampa de vapor hasta el tubo de alimentación, cuyo propósito sea, evitar el llenado de la trampa y acumular el excedente para precalentar el agua que llega a la cámara (cf. fig. 2.9).



(a)

Figura 2.9. Modelo tres de la Cámara focal. La imagen de la fotografía (a) muestra la parte superior de la cámara, que incluye, la trampa de vapor y el tanque de alivio, mismo que conecta al tubo de alimentación.

2.4.1. Modificación uno al modelo tres de la cámara focal

Para resolver los problemas anteriores, utilizamos el modelo tres de la cámara focal; al tanque de alivio acoplamos una válvula de paso (cf. fig. 2.10). Para drenar y registrar el nivel de agua presente en la cámara.



(a)



(b)

Figura 2.10. La imagen de la fotografía (a) presenta la válvula de paso señalada con una flecha. La cámara en toda su longitud se muestra en (b).

2.4.2. Modificación dos al modelo tres de la cámara focal

Después del seguimiento térmico, acoplamos el modelo tres de la cámara focal. Prolongamos el tubo que sale de la trampa de vapor, conectándolo a un cilindro que envuelve el tubo de alimentación después de la válvula check y ponemos el tubo de salida en la parte inferior del mismo (cf. fig. 2.11). El propósito es condensar más vapor calentando el agua que entra a la cámara, a fin de obtener agua destilada a menor temperatura en el vaso de precipitado.

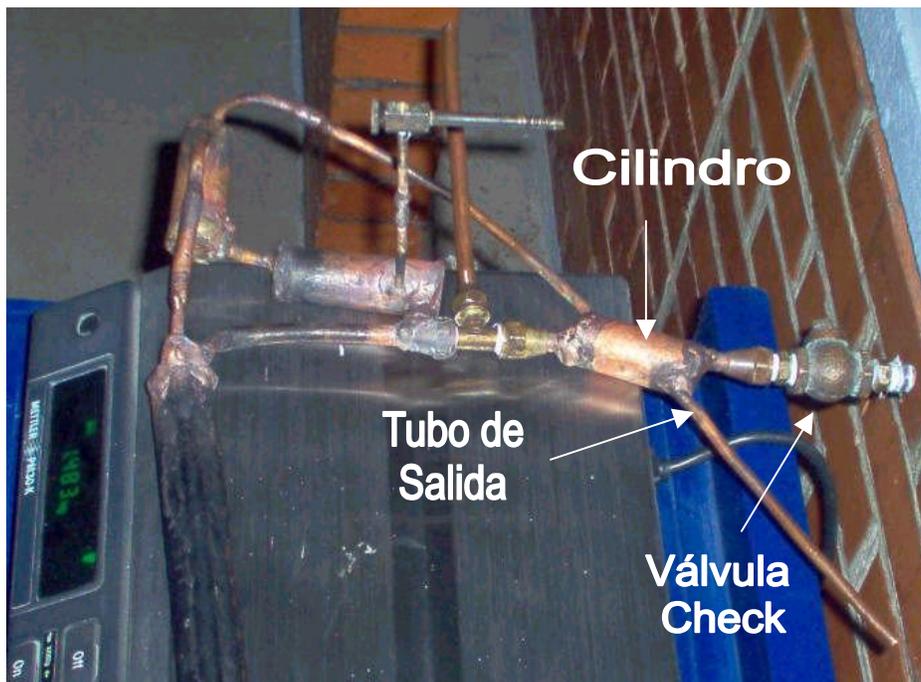


Figura 2.11. La imagen de la fotografía muestra la parte superior de la cámara, donde se puede reconocer el cilindro envolviendo el tubo de alimentación después de la válvula check..

2.5. Modelo cuatro: Diseño y fabricación del 4º modelo de la cámara focal

En vista de los resultados obtenidos en los experimentos solares, decidimos diseñar y fabricar el cuarto modelo de la cámara focal acoplando una trampa de vapor. Obtenemos la cámara a partir de dos tubos de cobre soldados longitudinalmente, de 26 mm de diámetro en la entrada y 13 mm en la salida; la trampa de vapor se elabora con un tubo de 102 mm (cf. fig. 2.12).



(a)



(b)



(c)

Figura 2.12. La imagen de la fotografía (a) muestra dos tubos de cobre, (26 mm y 13 mm de diámetro por 500 mm de longitud), la trampa de vapor, (102 mm de diámetro por 200 mm de altura), elementos para confeccionar la cámara focal; la imagen (b) presenta la vista interior de la trampa de vapor, donde apreciamos en el centro una placa soldada que llamamos de retención; la imagen (c) muestra el 4º modelo de la cámara focal.

2.5.1. Modificación uno al modelo cuatro de la cámara focal

Tratamos de resolver los problemas del experimento anterior, efectuamos cambios al modelo 4 (cf. fig. 2.13). Acoplamos una válvula check en la salida del contenedor y le conectamos un tubo de plástico transparente, para observar si tiene agua; a dicho tubo le insertamos otro de cobre, mismo que sale de la trampa de vapor y continua hasta el recipiente para agua destilada, cubriéndolo con el agua de alimentación. a fin de condensar el vapor que lleva y aprovechar el calor disipado en el calentamiento del agua que entra; se acoplaron paralelamente a la cámara dos tubos transparentes, tanto en la entrada, como en la salida, conectados individualmente en la parte superior a válvulas de paso y a manera de niveles permiten certificar la existencia de agua en el interior de la cámara. Por último soldamos un tubo a la trampa de vapor, acoplándole una válvula de paso (5), que sirva para drenar el excedente de agua, si lo hubiera.



Figura 2.13. En esta imagen podemos observar la válvula de paso (5) que drena la trampa de vapor.

2.5.2. Modificación dos al modelo cuatro de la cámara focal

Después de analizar el fenómeno en el tubo de alimentación, procedemos a realizar un tercer ensayo y proponemos conectar un tubo de cobre entre la válvula check y la cámara, a él le acoplamos un sensor de temperatura y un manómetro, a fin de observar la existencia de presión en su interior (cf. fig. 2.14).

Terminado este modelo, mostramos la cámara conectada a un tubo de cobre y en él acoplado un manómetro tipo Bourdón, marca SEMCA-SUREX, con un rango de (0-4 kg/cm²) y el sensor de temperatura (cf. fig. 2.14).



(a)



(b)

Figura 2.14. En las imágenes de las fotografías (a, b) podemos apreciar la cámara acoplada a un tubo de cobre, en la parte superior izquierda el manómetro de carátula redonda y a la derecha el sensor de temperatura.

2.5.3. Modificación tres al modelo cuatro de la cámara focal

Después de analizar los resultados anteriores, procedimos a realizar un cambio al modelo anterior y le adaptamos un tubo de 40.8 mm de diámetro por 575 mm de longitud, soldado en sus extremos; después de la válvula check y al borde de la cámara, (cf. fig. 2.15).

Con el sistema de enfriamiento elaborado tratamos de eliminar la presión en la entrada, así como condensar el vapor generado en la salida. Inyectamos agua aprovechando la bomba (BT2), produciendo un flujo que llega a la parte inferior de la camisa cilíndrica y continua hasta el contenedor; bañando el tubo de alimentación y atravesando la válvula de paso (7). La acumulación de agua condensada indica el momento de la realimentación de la cámara, cerramos la válvula anterior y abrimos la (8) dando pulsos a la bomba de 60 segundos.



Figura 2.15. La imagen de la fotografía a muestra el montaje del modelo cuatro de la cámara focal en el concentrador.

3. ETAPAS DE LA CÁMARA FOCAL EN EL DESTILADOR

3.1 Alimentación

En el modelo exploratorio de la cámara focal, el abastecimiento de agua teñida es por medio de un contenedor elevado y por gravedad el fluido es dirigido con una manguera que conecta a la cámara por la parte inferior, ésta es conformada por un tubo de 13 mm diámetro. El control de la temperatura se realiza mediante termómetros montados en cada una de seis válvulas colocadas cada diez centímetros.

En el primero, segundo, tercero y cuarto modelo la alimentación de agua se realiza por la parte superior de la cámara, se añadieron varios aditamentos para evitar el retorno del fluido cuando aumenta la presión, para controlar el vapor generado dentro de la cámara, y finalmente, para evitar las fugas de calor. Esto último se logró con un recubrimiento. Cabe mencionar que en estos modelos, los tubos que conformaban la cámara focal cambian de diámetro.



Figura 3.1. Cámara focal con seis válvulas

3.2 Recuperación de vapor.

En este proceso el material que se utilizó cuenta con ciertas propiedades técnicas como es la conductividad térmica, buena resistencia a la corrosión, además es un material no magnético y fácil de soldar.

Este material debe tener una alta capacidad para absorber la energía solar, para complementar y cumplir con las expectativas, fue necesario colocar un revestimiento de fibra de vidrio, pintar la superficie de la cámara de color negro mate y por último se colocó una lámina de aluminio para protegerlo del medio ambiente.

El contenedor pintado de negro tiene una capacidad al inicio de cuatro litros de agua, posteriormente su capacidad se incrementa a más de noventa, esta empieza a captar los rayos solares desde el primer momento en que se llena el recipiente, obteniendo una temperatura ligeramente mayor que la que se encuentra en el medio ambiente.

El propósito de este proyecto es el de aprovechar el calor generado en el interior de la cámara para destilar agua: En primer lugar se produce vapor de agua, mismo que debe ser posteriormente condensado. Para lograr esto último, enfriamos ese vapor con el agua que entra en el sistema, logrando otro objetivo simultáneamente: el calentamiento del agua que entra.

El serpentín se coloca en la entrada del agua fría, después de la válvula check que ésta entra en la cámara y el recipiente. El vapor que circula en el serpentín se condensa, cediendo calor al agua fría, acelerando el proceso de destilación.

Esto ocasiona que el vapor al perder temperatura se comience a condensar y empiece el recorrido del agua destilada colocándola en el recipiente de plástico. Todo esto se logra después de que el vapor termina su recorrido por las líneas del sistema (cf.fig.3.2).



Figura 3.2. Nos muestra la cámara focal instalada en el concentrador.

3.3. Rechazo.

Los sedimentos generados por el calentamiento del agua pueden obstruir las líneas de flujo y ocasionar la reducción del diámetro de las mismas, llegando a tapar completamente los tubos. Para prevenir este problema diseñamos un dispositivo que permita detener y drenar los mismos. Proponemos una trampa de vapor con un tapón en la base, misma que conectamos en la salida del tubo focal y de la misma manera colocamos otro similar en la parte inferior de la cámara (cf. fig. 3.3).

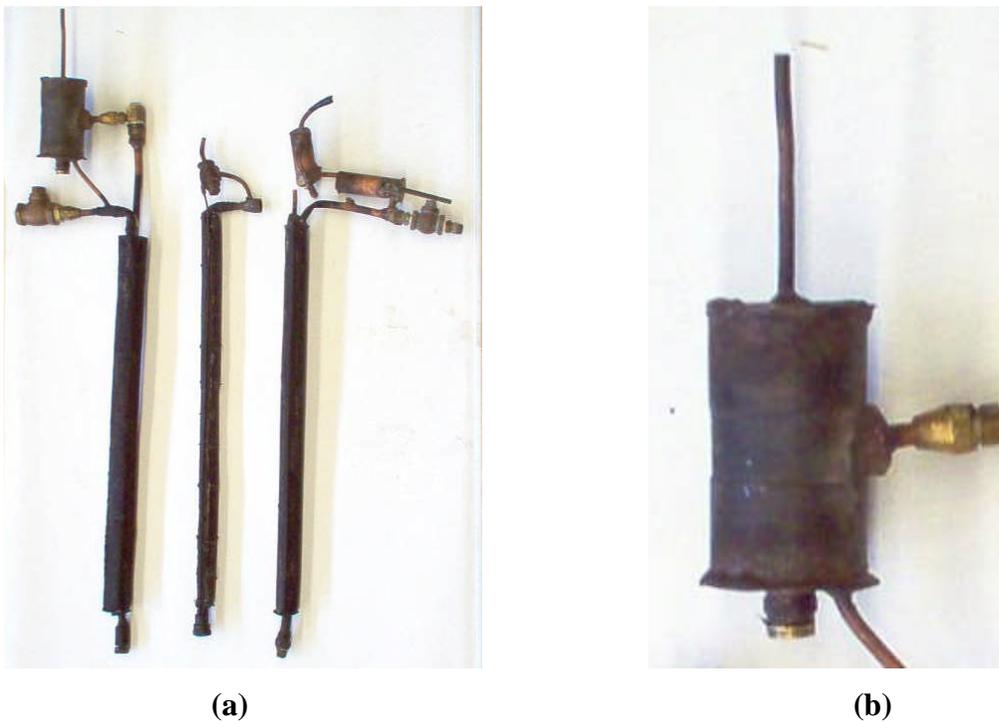


Figura 3.3. La imagen de la figura (a) muestra los modelos uno, dos y tres de la cámara focal con sus aditamentos respectivos; la imagen (b) muestra en detalle la trampa de vapor, apreciando en la base el tapón para drenar.

4. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA A LO LARGO DE LA CÁMARA

4.1. Análisis térmico de la cámara focal

Nuestro objetivo es realizar un seguimiento del balance energético en esta cámara. De acuerdo con la primera ley de la termodinámica, el cambio en la energía interna no es sino la suma del trabajo realizado sobre el sistema y del calor añadido. En nuestro sistema el trabajo realizado es prácticamente despreciable, ya que está ligado con los cambios de volumen. En nuestro sistema tenemos entonces los cambios de volumen de la cámara focal y del agua que hacemos circular. Despreciamos los cambios de volumen de la cámara. Respecto de los del agua, cuando al ser evaporada, en la primera parte del proceso, deberían “cancelarse” en la segunda parte, cuando se procede a la condensación. Más abajo aremos un análisis del trabajo conectado con este proceso. Por lo tanto nos limitaremos a hacer un seguimiento del calor añadido al sistema, figura 4.1.

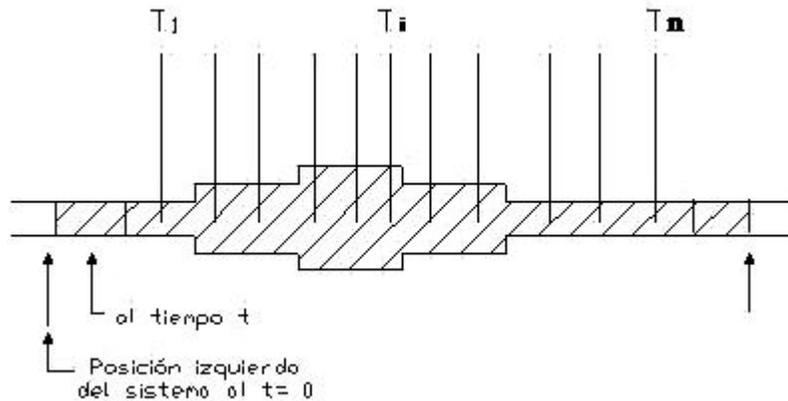


Figura 4.1 Cámara focal; seguimiento del calor añadido al sistema

Realizamos el seguimiento colocando varios termómetros a lo largo de la cámara. Cada uno de ellos suministra una lectura que podemos representar mediante T_i (t_n). El subíndice i corresponde a una etiqueta que identifica el termómetro, mientras que el n corresponde al número de lectura recuperada en este termómetro. El seguimiento termodinámico se traduce entonces por una lista de medidas obtenidas por cada uno de esos termómetros. Tales lecturas se realizan simultáneamente dentro de lo posible.

Hemos colocado los termómetros a lo largo de la cámara focal, numerándolos desde $i = 0$, hasta $i = M$, de manera que el agua pasa primero por el 0, luego por el 1, y finalmente por el M -ésimo.

En un instante de tiempo dado tenemos el conjunto de medidas $T_i(t_n)$, para $i = 0, 1, \dots, M$, todas obtenidas al tiempo (t_n) . Lo anterior constituye la imagen al tiempo t_n . El conjunto de las diferentes imágenes a los diferentes tiempos nos permite obtener una descripción dinámica, misma que conectaremos con los diferentes flujos de energía.

En una representación sobre simplificada del sistema, en donde mostramos tres termómetros consecutivos, cf. figura 4.2 (con tres termómetros consecutivos, numerados de $i-1, i, i+1$), podemos preguntarnos por la zona del sistema que resulta monitoreada por el i -ésimo termómetro. Básicamente, debemos trazar líneas imaginarias en ese diagrama, que nos permiten afirmar hasta donde se extiende la zona cuyo seguimiento lo realiza el i -ésimo termómetro. Con este tipo de ideas hemos representado más abajo en la (figura 4.3) con sólo dos termómetros, el $i-1$ y el i -ésimo y allí hemos trazado las lecturas de temperatura correspondientes a los instantes de tiempo t_{n-1} y t_n . De acuerdo con la figura el termómetro $(i-1)$ -ésimo incrementa su lectura, mientras que el i -ésimo se comporta al contrario. Este es el tipo de información que deseamos convertir en información termodinámica. Para ello sería mucho más conveniente contar con una temperatura en cada punto entre los dos termómetros, cf. figura 4.4. Como no contamos sino con la lectura de esos dos termómetros, supondremos como una aproximación a la realidad, que la temperatura entre uno y otro termómetro varía a lo largo de la recta que une sus lecturas. Esta es la hipótesis más simple. Esta descripción se puede precisar más introduciendo más termómetros.

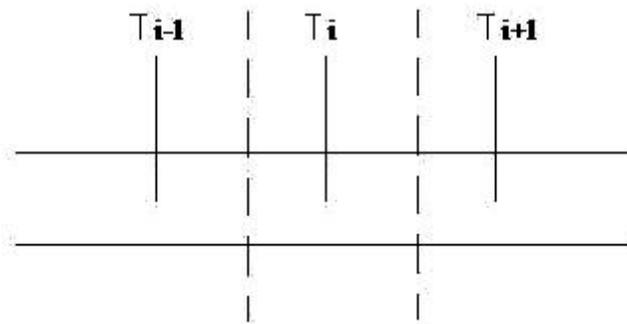


Figura 4.2 Seguimiento térmico de la cámara, donde $T_i(t_n)$: $\{n$ -ésima lectura de la temperatura del i -ésimo termómetro.

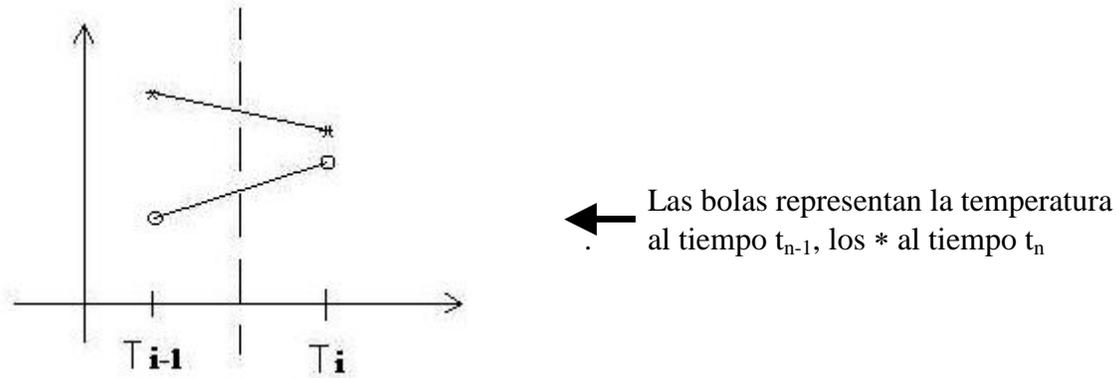


Figura 4.3 Representación con solo dos termómetros el $i-1$ y el i -ésimo.

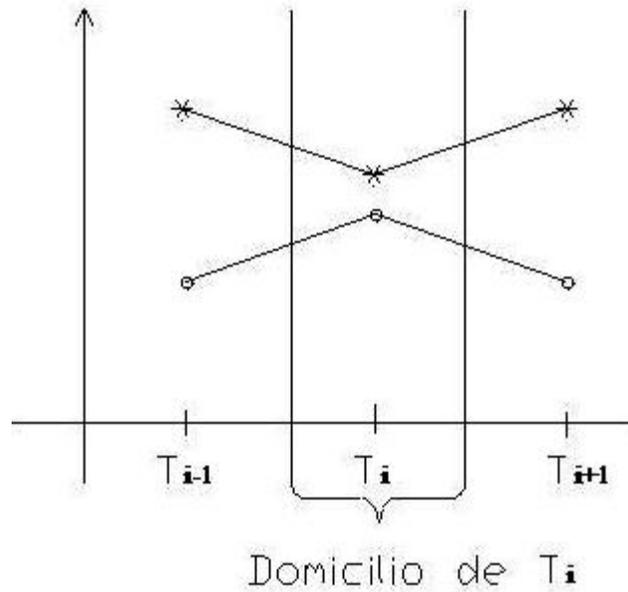


Figura 4.4 Temperatura entre dos termómetros

Para responder cual es el intercambio térmico en la zona alrededor del i -ésimo termómetro, sea C_i la capacidad calorífica de esa zona, y, si la temperatura de esa zona cambia en ΔT , la transferencia de calor es $C_i \Delta T$. Aquí podemos escribir que ΔT es igual al cambio en la temperatura desde el instante t_{n-1} hasta el instante t_n , escribiendo

$$\Delta T = T_i(t_n) - T_i(t_{n-1}) \quad (1)$$

Podemos, sin embargo, tomar en cuenta las lecturas de los termómetros que se encuentran a izquierda y derecha del termómetro T_i . La temperatura de la zona i –ésima resulta estar dada por

$$\frac{2 * T_i(t_n) + T_{i-1}(t_n) + T_{i+1}(t_n)}{4} \quad (2)$$

La razón de tomar la expresión anterior se basa en los promedios izquierdo y derecho.

Lo anterior permite construir una temperatura de la zona i –ésima que intenta tomar en cuenta las temperaturas de los termómetros vecinos. El cambio de tales temperaturas entre dos instantes de tiempo sucesivos, multiplicado por la cantidad calorífica de la zona correspondiente al i –ésimo termómetro, representa el incremento en su energía térmica. Tal resultado, sumado sobre todos los termómetros, produce el cambio neto en la energía interna entre los dichos tiempos.

Nosotros estamos interesados en el balance energético, mismo que debe tomar en cuenta la entrada y salida del agua. Si ésta entra y sale a la misma temperatura, la contribución es nula. Sin embargo, si por fijar ideas, el agua que sale tiene mayor temperatura que la que entra, entonces hay una convección de energía. Si la diferencia de temperaturas entre el agua que sale y la que entra, en ese orden es ΔT_a , y la cantidad de agua que sale entre los instantes de tiempo t_{n-1} y t_n es m_{n-1} , (cf. figura 4.5) la pérdida de energía para el sistema es

$$m_{n-1,n} c \left[\frac{(T_M(t_{n-1}) + T_M(t_n))}{2} - \frac{T_0(t_{n-1}) + T_0(t_n)}{2} \right]$$

Tomando en cuenta el movimiento del agua.

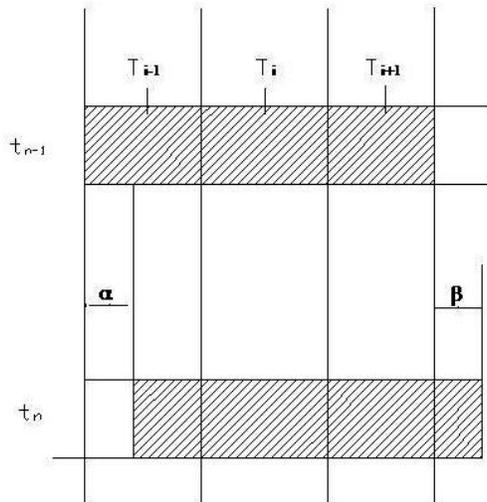


Figura 4.5 Intercambio térmico en el agua basado en tres lecturas de temperatura, donde α representa la distancia que recorre el agua por la izquierda y β por la derecha.

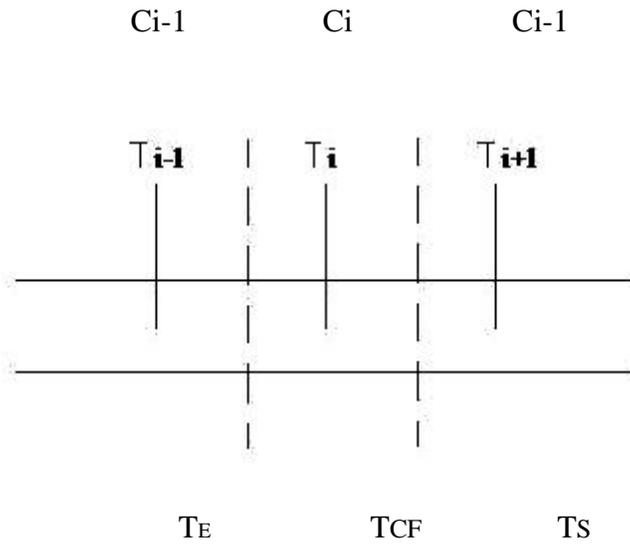


Figura 4.6 n -ésima lectura de temperatura del i -ésimo termómetro y capacidad calorífica

$$\frac{T_i + T_{i+1}}{2} \quad \text{Temperatura extremo izquierdo}$$

$$\left(\frac{T_i + T_{i-1}}{2} \right) (tn) = T_i(tn) + T_{i-1}(tn)$$

$$\left(\frac{T_i + T_{i-1}}{2} \right) (tn-1) = \frac{T_i(tn-1) + T_{i-1}(tn-1)}{2}$$

$$\frac{T_i + T_{i-1}}{2} \Big|_{t_{n-1}}^{t_n} = \Delta_I T_i \quad \text{Incremento de temperatura izquierdo}$$

$$C_i^I \Delta_I T_i \quad \text{Capacidad calorífica}$$

$$\sum_{i=1}^S \left\{ \left[\frac{T_i + T_{i-1}}{2} \Big|_{t_{n-1}}^{t_n} \right] C_i^{I+} \left[\frac{T_i + T_{i+1}}{2} \Big|_{t_{n-1}}^{t_n} \right] C_i^D \right\} + (V_n - V_{n-1}) \left(\frac{10^3 \text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{4.186 \text{J}}{\text{cal}} \right) \left(\frac{1000 \text{cal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) \Delta T$$

$$+ \Delta T = \left[\left(\frac{T_s(n-1) - T_R(n-1)}{2} \right) + \left(\frac{T_s(n) - T_R(n)}{2} \right) \right]$$

$$\Delta T = \frac{1}{2} [(T_s(n-1) + T_s(n)) - (T_R(n-1) + T_R(n))]$$

$$\Delta T = \frac{1}{2} [(T_s(n-1) - T_R(n-1)) + (T_s(n) - T_R(n))]$$

$$\sum_{i=1}^S \left\{ \left[\frac{T_i + T_{i-1}}{2} \Big|_{t_{n-1}}^{t_n} \right] C_i^{I+} \left[\frac{T_i + T_{i+1}}{2} \Big|_{t_{n-1}}^{t_n} \right] C_i^D \right\} + \left(\frac{V_n - V_{n-1}}{2} \right) \left(\frac{10^3 \text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{4.186 \text{J}}{\text{cal}} \right) \left(\frac{1000 \text{cal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) [(T_{s(n-1)} - T_{R(n-1)}) + (T_{s(n)} - T_{R(n)})] = \Delta U(n-1, n)$$

$$(V_n - V_{n-1}) \left(\frac{10^3 \text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{4.186 \text{J}}{\text{cal}} \right) \left(\frac{1000 \text{cal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) \frac{1}{2} (T_s(n-1) - T_R(n-1) + T_s(n) - T_R(n))$$

4.2. Concentración de energía en la cámara.

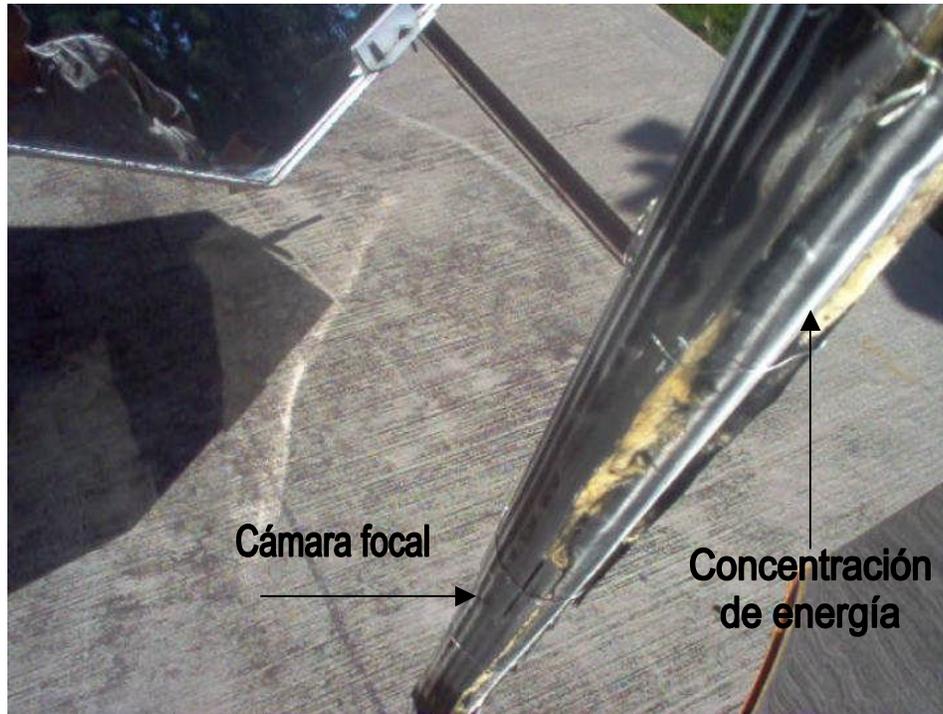


Figura 4.7. La imagen de la fotografía muestra la cámara focal con una cubierta de fibra de vidrio y lámina de aluminio, donde se puede apreciar en el borde de la misma, la concentración de energía en toda su longitud formando una línea.

Razón de concentración “C”

El principio del colector de concentración es captar la energía del Sol en una superficie más o menos grande y concentrarlo en una zona reducida. A tal fin se define como el factor de concentración C y es la relación entre el área efectiva del sistema óptico de captación de la radiación solar y la superficie del absorbedor.

5. EVALUACIÓN DE LA CÁMARA FOCAL DE EVAPORACIÓN

5.1. Variables climáticas

Para realizar la evaluación de la cámara focal de evaporación debemos medir sus diferentes características, tomando en cuenta aquellas variables externas que pueden modificar su eficiencia. Los principales factores externos que describen la exposición de la cámara a los rayos reflejados por el concentrador así como las variables climáticas de nuestro interés, como son, la temperatura ambiente, la velocidad del viento y la radiación solar.

5.1.1. Temperatura

La temperatura es la variable termodinámica más importante: está íntimamente ligada con el proceso de calentamiento y nos permite hacer un seguimiento preciso de la transferencia de calor a la cámara. Nosotros hemos hecho un seguimiento de la temperatura a lo largo de la cámara, en el aire entre la cámara focal y el concentrador así como también de la temperatura ambiental. La temperatura ambiente actúa por contacto térmico con la cámara, a pesar de todos los esfuerzos realizados para lograr su aislamiento.

En nuestro caso la variación y registro de las temperaturas, la realizamos con diferentes dispositivos, en el interior de la cámara, se obtiene con un termómetro bimetálico de tallo, marca TEL-TRU, modelo ROCHESTER USA y un rango de 0 a 150 ° C el aire, por el potencial eléctrico producido por un termopar acoplado a un multímetro, marca CLAMP METER, modelo DT266C, con un rango de -20 a 750 ° C ambos instrumentos tienen una sensibilidad de 1° C (cf. fig. 5.1).



Figura 5.1. La fotografía muestra en su imagen del lado izquierdo un termómetro bimetálico de carátula redonda con un tallo de 8 pulgadas, el lado derecho presenta un multímetro digital con un elemento sensor que se aprecia en la parte superior de la imagen.

5.1.2. Radiación solar

La radiación solar es la cantidad de energía procedente del Sol que incide en una unidad de área a lo largo de todo el día. Ésta varía por la absorción y la dispersión de la atmósfera. Sus mediciones se realizan con un pirheliómetro tipo Kipp & Zonen acoplado en la estación meteorológica automática Almaraz, que monitorea la radiación solar, reportando los datos cada 15 minutos durante todo el año (cf. fig. 5.2 y 5.3).



Figura 5.2. La fotografía muestra la imagen de un pirheliómetro tipo Kipp & Zonen utilizado para monitorear la radiación solar.



Figura 5.3. La fotografía nos muestra la imagen de la estación meteorológica automática Almaraz de lado izquierdo suspendido de una barra el pirheliómetro tipo Kipp & Zonen dentro de una circunferencia monitorea la radiación solar.

6. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LA CÁMARA FOCAL DE EVAPORACIÓN

6.1. Balance energético

La primera ley de la termodinámica establece que existe una función de estado U , la *energía interna*, cuyo cambio ΔU en un proceso está dado por:

$$\Delta U = W + Q \quad (6.1)$$

donde W es el trabajo realizado sobre el sistema y Q es el calor *añadido* al sistema. Es precisamente en el marco de esta ley que nos proponemos analizar el funcionamiento de la cámara focal. En lo que sigue U representa la energía interna de la cámara.

En los procesos que analizaremos no hay fuerzas que realicen trabajo sobre la cámara, al menos de manera notoria: Las variaciones en la presión atmosférica efectivamente dan lugar a un cambio en el volumen de la cámara, sin embargo, tal cambio es tan pequeño que el trabajo correspondiente puede ser despreciado. En estas condiciones podemos afirmar que:

$$\Delta U = Q \quad (6.2)$$

Es decir, que el cambio en la *energía interna de la cámara* no es sino que calor aplicado a lo largo del proceso de calentamiento. El estado termodinámico del sistema podemos especificarlo utilizando dos variables termodinámicas. Aquí nos inclinamos por utilizar la presión p y la temperatura T . Para evitar dificultades de unidades, desde ahora reportaremos la presión en pascuales (Pa) y las temperaturas (absolutas) en grados Kelvin ($^{\circ}K$). En estas condiciones, la primera ley establece que $U = U(p, T)$. Dado que las variaciones de presión son pequeñas, podemos poner $U = U(T)$. La primera ley únicamente establece el *cambio* en la energía interna, definiendo así la energía a menos de una constante. Esto significa que podemos elegir el valor de la energía en algún estado. Nosotros definimos, por tal motivo:

$$U(373.16) = 0 \quad (6.3)$$

tomando como estado de referencia el de la cámara cuando su temperatura absoluta es $T = 373.16$. Si referimos todos los cambios respecto del estado de referencia, podemos escribir:

$$U(T) = Q \quad (6.4)$$

donde Q es el calor que se debe aplicar a la cámara para que su estado pase desde el estado de referencia al estado cuya temperatura es T .

El calor Q añadido es la suma de varias contribuciones: Por un lado tenemos la radiación reflejada por el concentrador, de la que absorbe gran parte la cámara y el fluido en movimiento, radiando el resto hacia el exterior; es decir, existe una transferencia de calor entre la cámara y el aire atmosférico (en general en movimiento). A continuación aclaramos cada uno de estos términos.

6.2. Energía en la cámara focal

Durante el experimento se registra un cambio de temperatura en la cámara que hace variar su energía interna, a la que ahora llamamos (ΔU), (ec.6.5), siendo está la suma del calor que absorbe la cámara, el fluido en movimiento y el volumen procesado y es resultado del producto del coeficiente calorífico (c) en $J/kg^\circ C$ (de la cámara de cobre igual a 385.1, del agua y volumen procesado de 4186); la masa (m) en kg, (de la cámara de 1.483, del agua de 0.370 y el volumen procesado 0.0655); la diferencia de temperaturas (ΔT) y un incremento de tiempo (Δt) de 600 segundos.

$$\Delta U = m c (\Delta T / \Delta t) \quad (6.5)$$

Los valores obtenidos de la temperatura y la variación de la energía interna en la cámara los presentamos en las tablas (a, b y c de las pag. 67,68 y 69).

Las fotografías de la figura 6.1, presentan imágenes de la cámara, con los dispositivos utilizados para el registro de la temperatura.

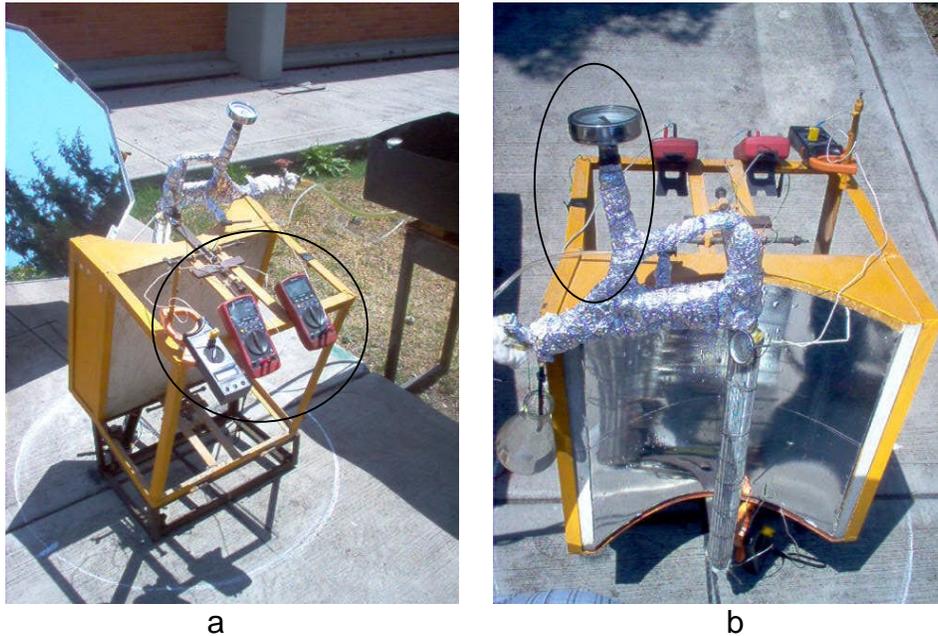


Figura 6.1. Registro de temperatura en el concentrador. La fotografía (a) muestra la imagen del concentrador suspendiendo tres multímetros sobre su estructura, la fotografía (b) presenta el concentrador de frente al centro una columna que describe la cámara focal soportando dos termómetros bimetálicos de tallo dentro de una circunferencia cada uno, el que se observa en la parte central hace contacto con la lámina reflejante, el segundo colocado en la parte superior izquierda, registra una de las temperaturas internas de la cámara; por último, en la fotografía (c) observamos en la parte inferior la imagen de un multímetro que muestra la temperatura del aire de un sensor colocado entre la cámara y el concentrador, más arriba tenemos un termómetro de caratula redonda.

6.3. Radiación de Stefan-Boltzmann

La incidencia de los rayos solares reflejados en la cámara al inicio de la experimentación comienzan a calentarla y a la vez se presenta una energía radiada que calienta el aire ambiente, siendo ésta una energía de radiación por unidad de área que emite el tubo focal y es proporcional a su temperatura absoluta elevada a la cuarta potencia (*ley de Stefan-Boltzmann*).

$$P_R = s A T^4 \quad (6.6)$$

Donde P_R es la radiación térmica, S es la constante de Stefan-Boltzmann igual a $(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4)$, A es el área radiante del tubo focal $(4.76 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$ y T es la temperatura absoluta en $^\circ\text{K}$.



Figura 6.2. En la fotografía se muestra la imagen de la ventana de radiación de la cámara focal colocada en el concentrador.

7. EXPERIMENTACIÓN

7.1. Montaje del modelo uno de la cámara focal y el concentrador, conformando un destilador solar

Experimento I

Iniciamos colocando los elementos que conforman el sistema destilador, sobre la línea del norte geográfico trazada previamente, seguimos con la distribución de sensores de temperatura, desde el contenedor, a lo largo de toda la cámara y en los sitios precisos del sistema.

Llenamos con agua teñida el contenedor y por gravedad llega a la cámara; aprovecharemos la conformación y exposición al sol de los elementos en su calentamiento (cf. fig. 7.1).

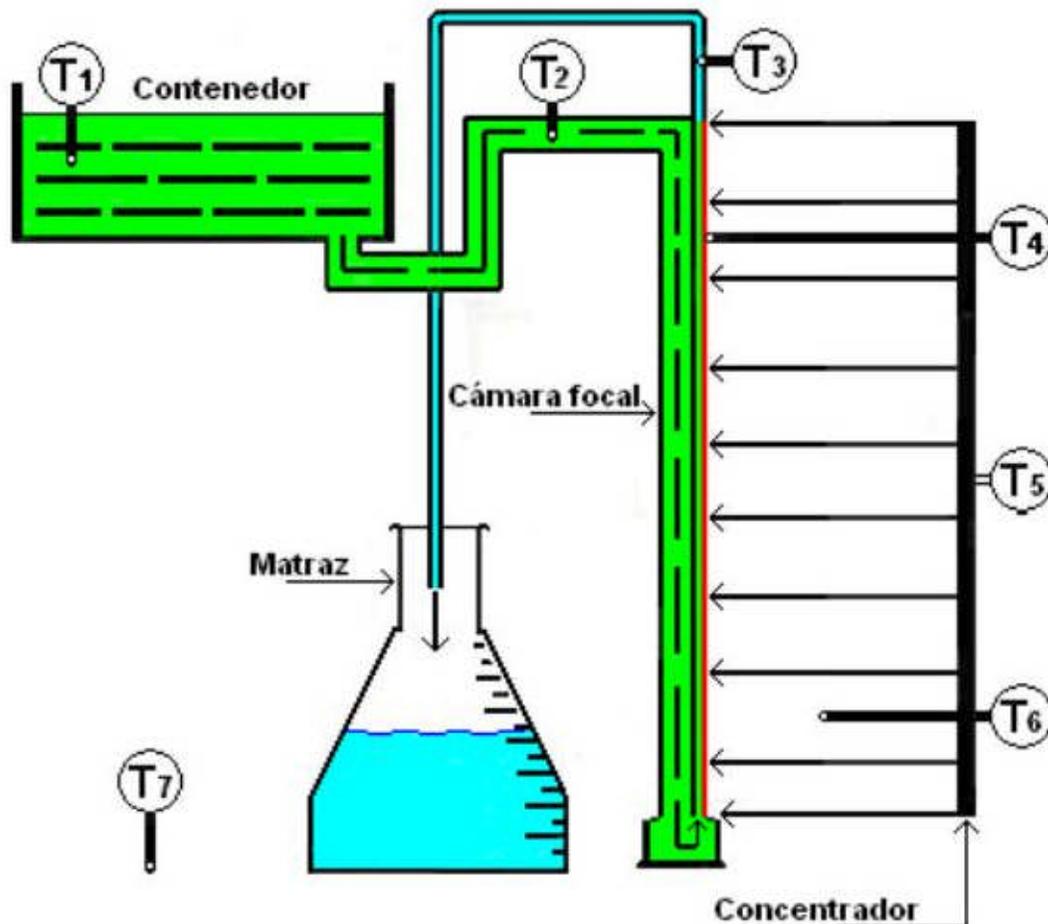


Figura 7.1. Montaje del destilador utilizando el modelo uno de la cámara focal. En el croquis se pueden apreciar los termómetros colocados en el sistema destilador. El termómetro T₁ en el contenedor y así sucesivamente T₂ la entrada a la cámara, T₃ la salida, T₄ en la línea focal, T₅ el concentrador, T₆ el aire y T₇ registra el medio ambiente. El contenedor presenta un tubo en la parte inferior mostrando el flujo que pasa por la cámara y continúa hacia el matraz.

En la prueba apreciamos una condensación en las paredes del tubo de salida (cf. fig. 7.2), seguida de la ebullición y posteriormente un arrojó cíclico de agua al matraz. La presencia de estos fenómenos muestran el comportamiento de la cámara, por lo que decidimos diseñar y acoplar nuevos elementos, a fin de evitarlos.



Figura 7.2. En la imagen de la fotografía observamos indicado con una flecha el condensado en el interior del tubo..

Experimento II

Acoplamos una serie de elementos al modelo uno de la cámara focal y realizamos un segundo intento. Montamos una trampa de vapor con una válvula de alivio, a dicha trampa se le instaló un tapón en la parte inferior y un tubo en la parte superior utilizado como salida. El tapón lo utilizamos para drenar y retirar los sedimentos que acumule la trampa; también acoplamos previo a la entrada de la cámara una válvula check, a fin de evitar el regreso del agua al contenedor (cf. fig. 7.3 y 7.4).

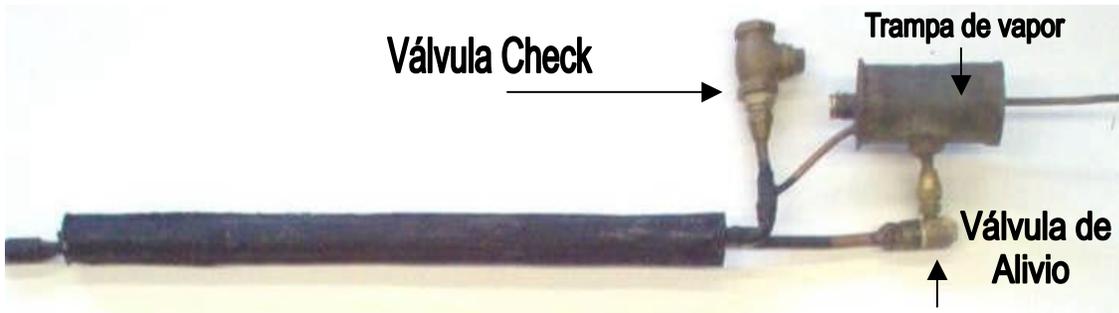


Figura 7.3. La imagen de la fotografía muestra la cámara focal terminada, acoplada a tres elementos, Válvula check, Válvula de alivio y trampa de vapor.

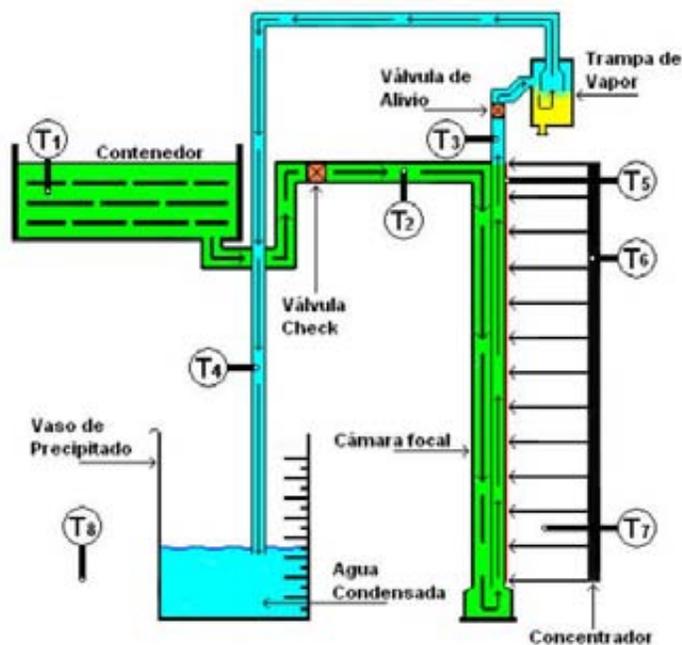


Figura 7.4. Montaje del destilador con el modelo uno modificado. Apreciamos en la parte superior de la cámara la válvula de alivio conectada a la trampa de vapor, también se presenta una válvula check entre el contenedor y la cámara.

En este experimento no se aprecia nada nuevo, es más, una de las adaptaciones resultó inconveniente y como la cámara no logra llenarse, decidimos suspender y dar por terminado éste intento.

Experimento III

Seguimos investigando y para realizar un nuevo intento, al modelo uno le retiramos la válvula de alivio, pensando que ésta sea la causa que dificulta el llenado de la cámara. Montamos nuevamente el destilador, observando que después de una hora de calentamiento, el inició de un goteo permanente durante las dos horas posteriores, suspendiéndose en ese instante; momento en el que decidimos finalizar la prueba. Por último medimos el volumen acumulado en el matraz, obteniendo 55 ml (cf. fig. 7.5).



Figura 7.5. La imagen de la fotografía (a) muestra el destilador durante el experimento, en la imagen (b) podemos apreciar la parte trasera del concentrador un matraz conteniendo una pequeña muestra de agua.

7.2. Conformación del modelo dos de la cámara focal

Experimento IV

La nueva versión de la cámara focal ahora presenta dos tubos soldados longitudinalmente, uno de tres octavos de pulgada y otro de un octavo de diámetro. El tubo focal de menor diámetro es conectado por un costado a la trampa de vapor; otro tubo se acopla, comunicando la trampa y el tubo de alimentación; ésta adecuación se realiza con la finalidad de vaciar la trampa y a la vez ocupar el calor obtenido en el calentamiento del agua que alimenta la cámara (cf. fig. 2.8 pag.11).

Como con éste modelo de la cámara focal se dificultó su llenado natural, forzamos el mismo, aspirando por el tubo que sale de la trampa de vapor, logrando abastecer la cámara. Se pudo observar un aumento de temperatura y un flujo continuo hacia el matraz; por lo que decidimos dar por terminada la prueba y abandonar este modelo.

7.3. Conformación del modelo tres de la cámara focal

Experimento V

Tratando de resolver los problemas obtenidos con los modelos anteriores, diseñamos y fabricamos el modelo tres de la cámara focal. Acoplamos dos tubos longitudinalmente; en donde llega la alimentación, se presenta un tubo de una pulgada de diámetro, seguido de otro de tres octavos, en él se acopla la trampa de vapor. También conectamos un recipiente que comunica la trampa de vapor con el tubo de alimentación, denominado tanque de alivio. Cuyo propósito es evitar el llenado de la trampa, almacenando el excedente, para ser vaciado y precalentar el agua que entra a la cámara (cf. fig. 7.6 a y b).



(a)



(b)

Figura 7.6. Modelo tres de la Cámara focal. La imagen de la fotografía (a) muestra la parte superior de la cámara y las conexiones de la trampa de vapor, el tanque de alivio y tubo de alimentación. El modelo tres de la cámara se muestra en la imagen (b).

Utilizamos el modelo tres de la cámara focal, para montar el destilador y realizar un nuevo experimento (cf. fig. 7.7).

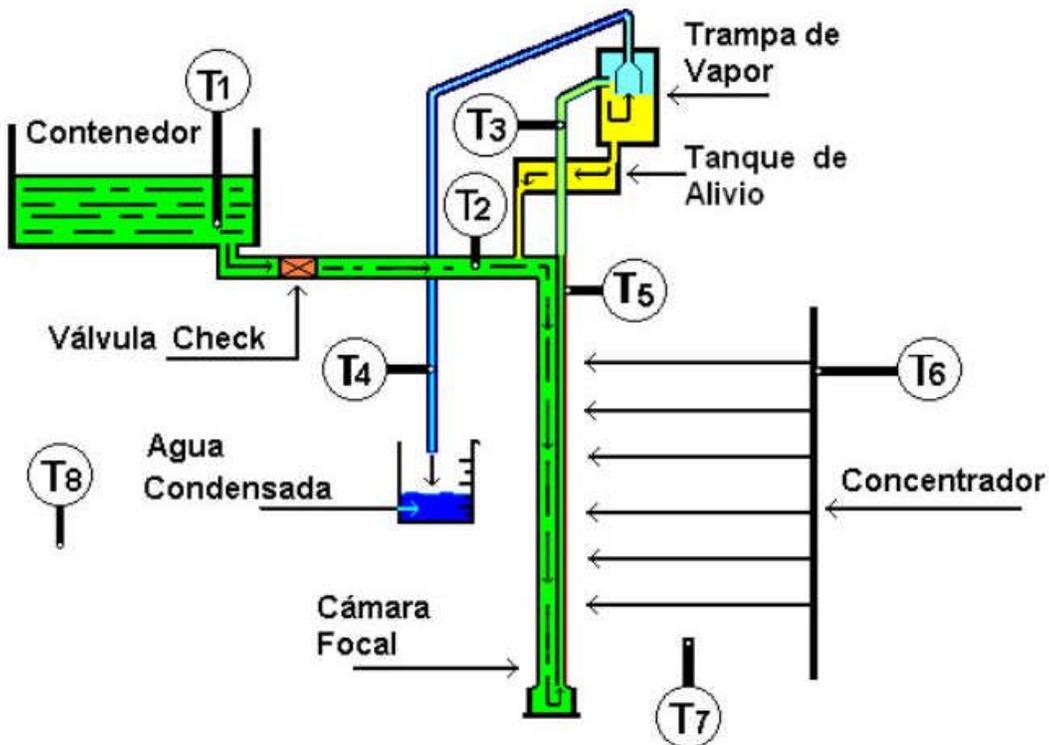


Figura 7.7. Montaje del destilador con el modelo tres de la cámara focal. En la parte superior de la cámara presenta la trampa de vapor conectada al tanque de alivio que la realimenta. El flujo de agua hacia la cámara se muestra por medio de flechas en el interior de los tubos.

Con este modelo solo bombeamos agua caliente, ocasionado por el llenado de la trampa de vapor y el tanque de alivio. Se acumularon 0.0374 m^3 en 2.75 hr. Los datos están registrados en la tabla EXP V de la página 85.

Experimento VI

Para resolver los problemas anteriores, como el flujo continuo, el llenado de la trampa de vapor y del tanque de alivio; decidimos acoplar una válvula de paso en el tanque de alivio, para drenar el excedente y registrar la llegada de agua a la cámara (cf. fig. 7.8).



(a)



(b)

Figura 7.8. La imagen de la fotografía (a) presenta la válvula de paso señalada con una flecha. La cámara en toda su longitud se muestra en (b).

En este experimento se siguen presentando los mismos problemas, además el volumen acumulado disminuye a 0.02011 m^3 y el flujo de agua termina en ese instante. Los datos obtenidos se muestran en la tabla EXP VI de la pág. 85.

7.4. Comportamiento térmico del destilador

Experimento VII

Con el objeto de hacer un seguimiento riguroso del proceso térmico procedimos a implantar diez sensores de temperatura al montaje del modelo tres. Tales sensores están a lo largo de todo el sistema desde el contenedor hasta la salida, éstos se muestran en la figura 7.9. Con las etiquetas de T_1 a T_{10} . La temperatura T_1 se registra en el contenedor, las temperaturas T_2 , T_3 , T_4 , T_5 y T_6 se toman en el interior de la cámara focal, la temperatura T_7 es sensada en la cresta del tubo focal, la temperatura T_8 se registra en la lámina del concentrador, la temperatura T_9 se registra en la zona entre el concentrador y la cámara y la temperatura T_{10} es la que presenta el medio ambiente (cf. fig. 7.9).

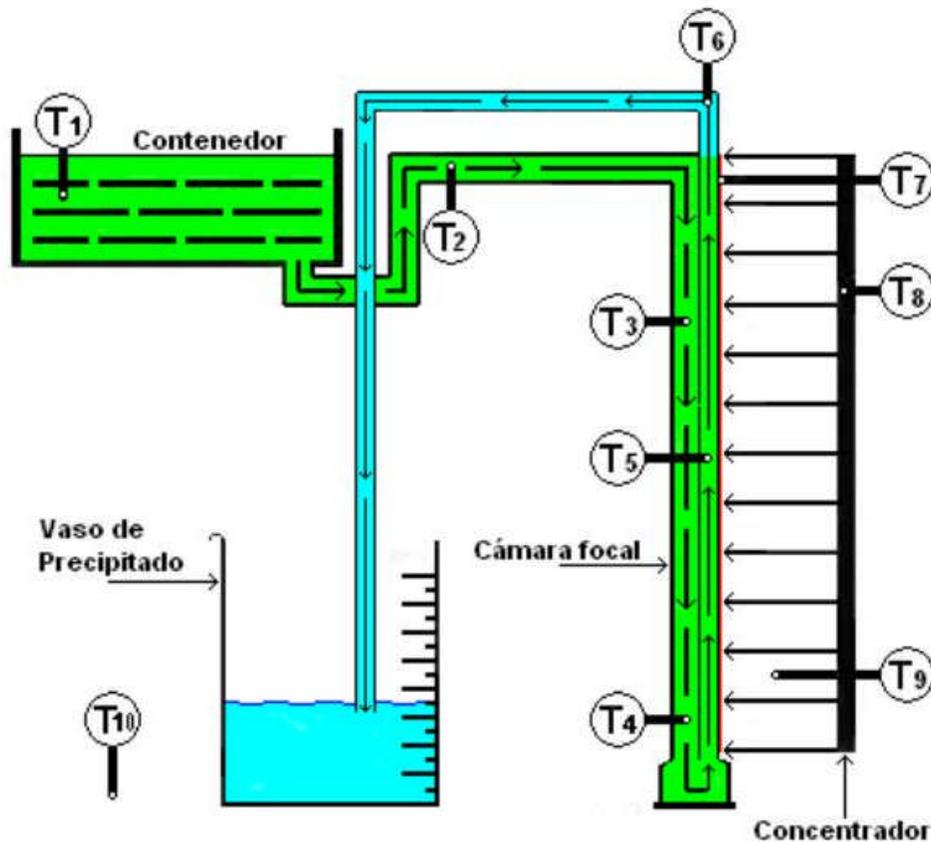
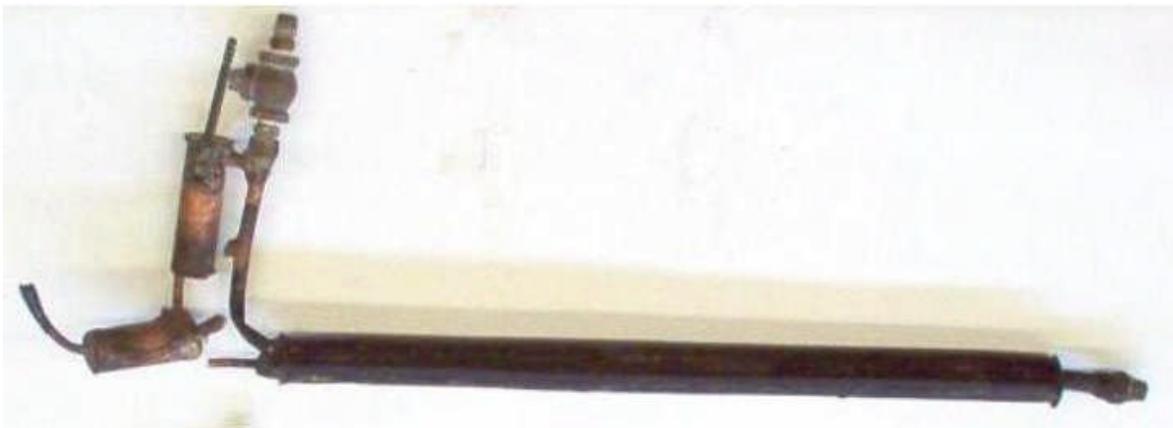


Figura 7.9. montaje del destilador, para un seguimiento termico, utilizando el modelo tres de la cámara focal. Apreciamos la distribución de termómetros, colocados en puntos específicos y sensar las temperaturas: T_1 , vertedero; T_2 , T_3 , T_4 , T_5 y T_6 , internas de la cámara focal; T_7 , la línea focal; T_8 , la superficie del concentrador; T_9 , el aire entre el concentrador y la cámara y T_{10} , el medio ambiente.

Para realizar el experimento VII propuesto, al modelo tres de la cámara le cortamos el tubo focal en la parte superior, separándolo de la trampa de vapor y del tanque de alivio, con el fin de conectarle una manguera, para llenar un recipiente y registrar el gasto durante el experimento (cf. fig. 7.10).



(a)



(b)

Figura 7.10. Cámara focal para el seguimiento térmico. Las imágenes de las fotografías muestran el corte realizado en el tubo focal, señalado con una flecha en la imagen (a) y el total de la cámara en (b).

La cámara focal extendida presenta una longitud de 277 cm, 130 cm en tubo flexible (*manguera*) de 13 mm de diámetro conectada al contenedor; los tubos de cobre que conforman la cámara son de 25.4 mm y 9.52 mm (cf. fig. 7.11). la capacidad total de la cámara y la manguera que la alimenta es de $586.178 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ y en cada uno de los tramos calculamos consecutivamente el volumen que presentan entre los termómetros respectivos. Iniciando con el volumen de la manguera y parte de la cámara, descrito entre el termómetro uno y dos, con un valor en m^3 de: ($V_1 = 233.41 \times 10^{-6}$, $V_2 = 91.73 \times 10^{-6}$, $V_3 = 194.61 \times 10^{-6}$, $V_4 = 51.69 \times 10^{-6}$ y $V_5 = 14.748 \times 10^{-6}$).

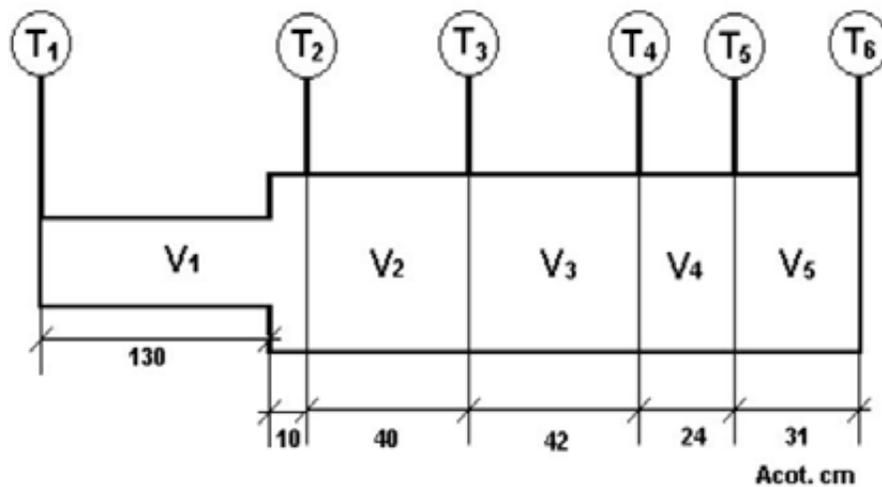


Figura 7.11. Cámara focal extendida en toda su longitud. Se muestra la distancia entre cada uno de los termómetros y en el interior del tubo se aprecian las áreas que indican el límite del volumen respectivo.

Para este experimento VII colocamos 81 litros de agua en el contenedor (cf. fig. 7.12), nivelamos la altura del tubo de alimentación y la superficie de agua en el contenedor. Los cuatro experimentos realizados muestran un comportamiento homogéneo y los detalles los mostramos en las tablas EXP VII (a,b,c,d) de las páginas 86 y 87.

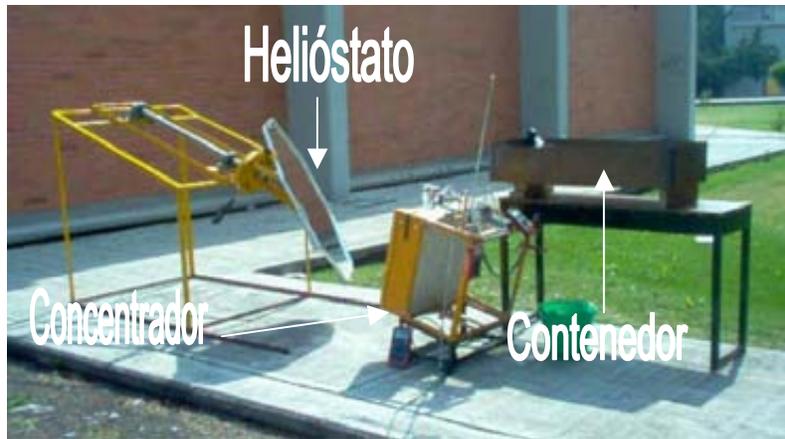


Figura 7.12. La imagen del destilador solar presenta el contenedor sobre el nivel de la cámara y el helióstato alineado al concentrador.

7.5. Destilador solar con el modelo tres de la cámara focal modificado

Concluido el experimento VII , modificamos una vez más el modelo 3 de la cámara focal, Prolongando el tubo que sale de la trampa de vapor y conectándolo a un cilindro que envuelve el tubo de alimentación, acoplado después de la válvula check y soldado en la parte inferior del mismo el tubo de salida (cf. fig.7.13). El propósito de este arreglo es condensar más vapor con el calentamiento del agua que entra a la cámara, a fin de obtener agua destilada a menor temperatura en el vaso de precipitado.



(a)



(b)

Figura 7.13. La imagen de la fotografía (a) muestra la parte superior de la cámara, donde se puede reconocer el cilindro envolviendo el tubo de alimentación después de la válvula check. Que incluye en la parte inferior el tubo de salida. En la imagen (b) se muestra el tubo de alimentación, se puede reconocer el modelo 3 de la cámara focal sobre la balanza electrónica que indica el peso de la misma (1.483 kg).

Experimento VIII

Montamos el destilador utilizando el modelo tres ya modificado (cf. fig. 7.14). Ahora regulamos el nivel de agua entre el contenedor y la cámara, abriendo la válvula de paso presente en el tanque de alivio.

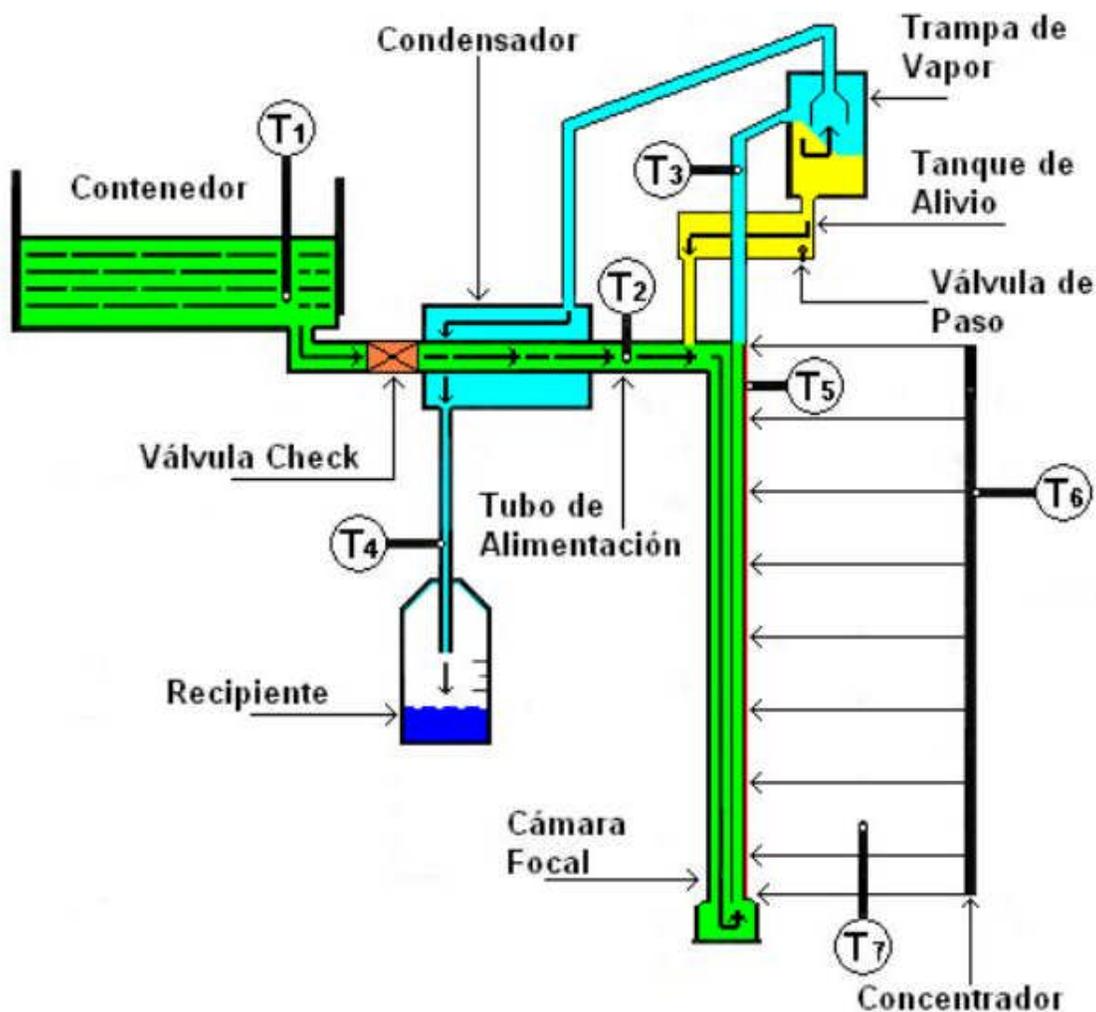


Figura 7.14. Esquema del destilador donde observamos el condensador cubriendo el tubo en la entrada de la cámara focal.

En este experimento se acumulan 0.001275 m^3 en cinco horas (cf. Tabla EXP VIII pág. 88). También apreciamos un fenómeno, que expande y contrae el recipiente de plástico donde acumulamos el agua condensada. Analizamos los resultados y datos obtenidos, llegando a la conclusión, que el aumento en la temperatura dos, refleja un vacío dentro del tubo de alimentación, que ocasiona la baja producción de agua, manifestando la existencia de una presión que obstruye la válvula check y suspende el flujo (cf. fig. 7.15).

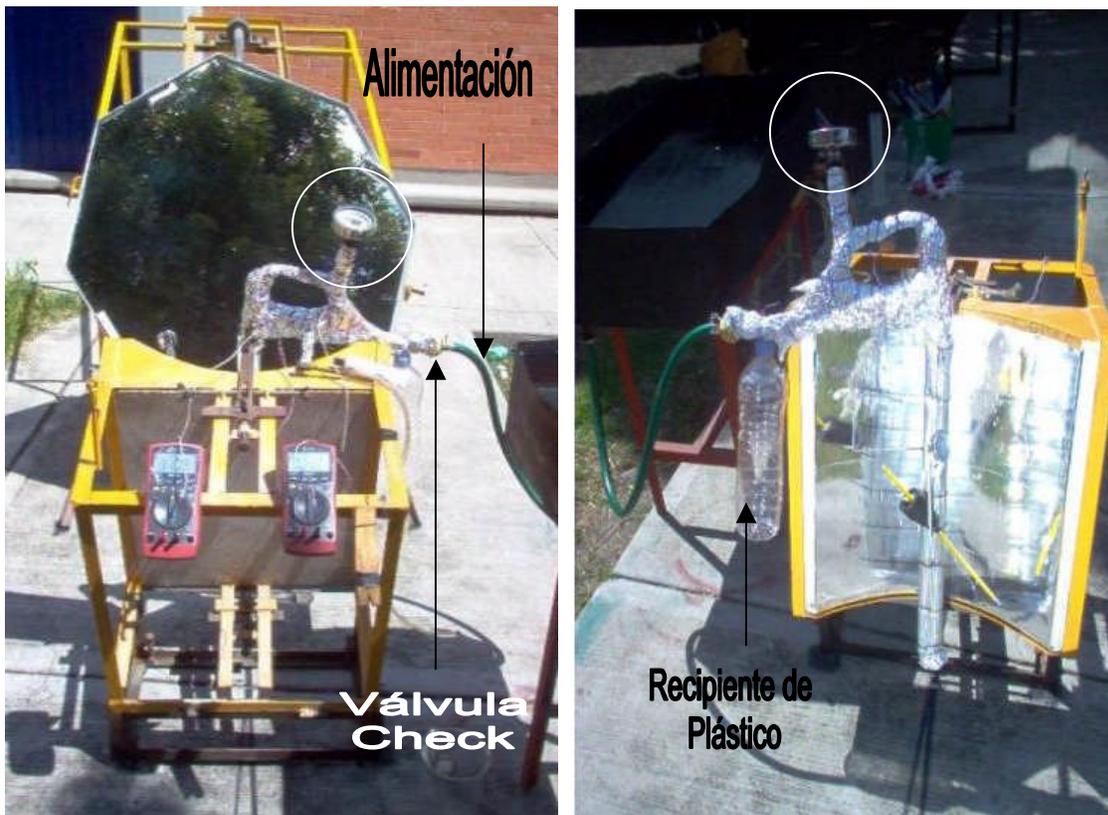


Figura 7.15. Las imágenes de la fotografías presentan el termómetro dos, mismo que registra la temperatura en el interior del tubo de alimentación; señalándolo dentro de la imagen con un círculo.

7.6. Simulación del calentamiento solar aprovechando la combustión de gas LP en la cámara focal

Experimento IX

Utilizamos el modelo cuatro de la cámara focal en el montaje del experimento IX. Ahora utilizamos la energía generada por la combustión de gas LP en el calentamiento de la cámara. Empleamos un quemador vertical, acoplado paralelamente a la cámara y fijo a un bastidor; aplicando directamente la flama que se forma sobre la cresta del tubo focal (cf. fig. 7.16).

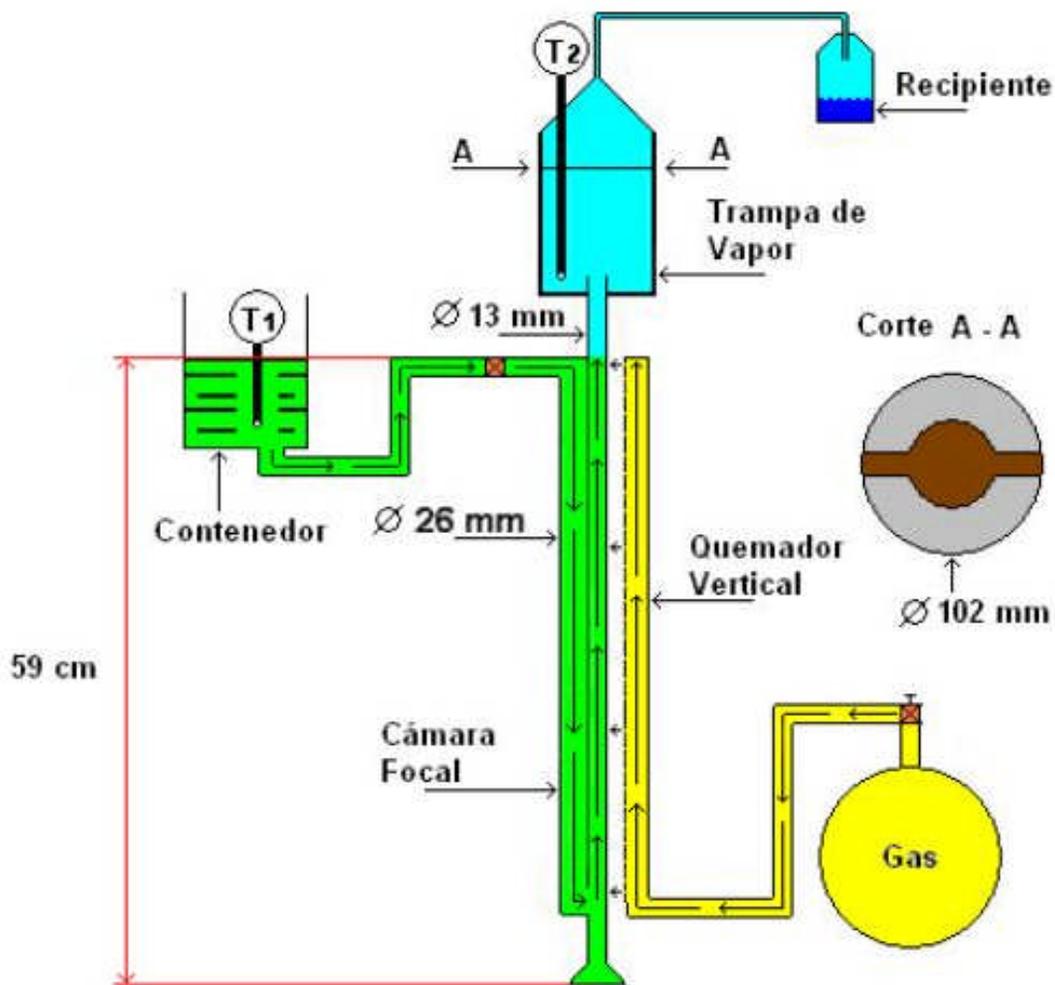


Figura 7.16. Montaje experimental de la cámara focal expuesta a fuego directo. Podemos observar la cámara focal y los tubos que la conforman indicando sus diámetros. La alineación paralela con el quemador, indicando la flama en el borde de la cámara focal. El flujo de agua y gas se muestra por medio de flechas en el interior de los tubos respectivos. También se puede apreciar en detalle el corte A-A de la cámara focal, mostrando la vista interior y la indicación de su diámetro.

En este experimento que duro dos horas (cf. fig. 7.17), observamos, que después del calentamiento de 15 minutos, la temperatura interior de la trampa de vapor permanece constante en 92°C hasta el final del experimento. Se pudo apreciar la falta de agua en el interior del tubo de alimentación y un fenómeno que generaba la expansión y contracción de la bolsa de plástico que sella el recipiente donde se acumula el agua condensada.



(a)



(b)

Figura 7.17. En la fotografía (a) apreciamos, del lado izquierdo, la imagen del contenedor que alimenta la cámara. Se puede apreciar, en el centro de la imagen, en la parte superior, el recipiente tapado con una bolsa de plástico transparente, mismo que señalamos. En el extremo derecho, se presenta el recipiente de gas conectado al quemador. La imagen de la fotografía (b) presenta el montaje del modelo cuatro de la cámara, durante el experimento, donde podemos ver el acoplamiento entre la cámara, el quemador y el bastidor.

Experimento X

Después de analizar los resultados obtenidos en el experimento IX, efectuamos una serie de cambios al modelo cuatro de la cámara focal.

Primero instalamos en el contenedor una válvula check, seguida de un tubo de plástico transparente hasta la entrada de la cámara; a dicho tubo le insertamos uno de cobre, que sale de la trampa de vapor y continua hasta el recipiente para agua destilada; éste se cubre parcialmente con el agua que entra a menor temperatura. Realizamos estos arreglos para observar el flujo de agua hacia la cámara y aprovechamos el baño que presenta el tubo de cobre para condensar el vapor que en éste fluye y a la vez utilizar el calor disipado en el calentamiento del agua que alimenta la cámara. Por último, verificamos el llenado de la cámara, observando la altura que toma el agua en los niveles, mismos que se encuentran paralelos a la cámara y provistos cada uno de ellos con dos válvulas de paso para su regulación. En la base de la trampa de vapor soldamos un tubo acoplándole una válvula de paso, para su drenado (cf. fig. 7.18).

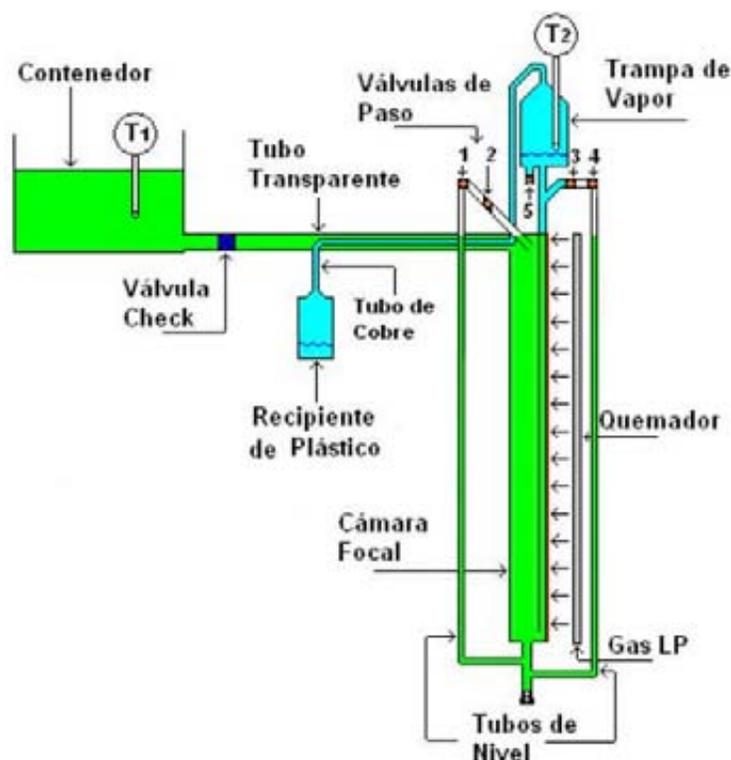


Figura 7.18. Esquema del montaje de calentamiento de agua con gas LP. Se muestran dos tubos paralelos de nivelación en los costados de la cámara, mismos que contienen en la parte superior válvulas de paso (1,2,3,4); además contamos con dos termómetros para sensar las temperaturas, (T_1) en el contenedor y (T_2) en la trampa de vapor. Se puede observar un tubo pequeño en la salida de la trampa de vapor atravesando el tubo de alimentación, a fin de precalentar el agua que llega a la cámara y condensar el vapor.

En este experimento logramos observar el fenómeno que ocurre después de la válvula check. Primero percibimos el calentamiento en toda la cámara y se pudo apreciar la acumulación de vapor en el interior del tubo transparente que la alimenta. Este fenómeno desplaza el agua contenida en el tubo, suspendiendo el flujo. En consecuencia solo se evapora el agua que existe en la cámara.

Posteriormente se presentó otro fenómeno, capaz de absorber el agua acumulada en el recipiente de plástico, vaciándolo en su totalidad y comprimiéndolo: a continuación, de forma natural, se vuelve a llenar la cámara y el recipiente de plástico toma su forma original. Este fenómeno se repite varias veces durante el experimento. Este comportamiento se puede seguir con detalle gracias a que el tubo de alimentación y los de nivel son transparentes. A pesar de lo intrigante abandonamos este montaje sin investigar más (cf. fig. 7.19).



(a)



(b)



(c)

Figura 7.19. Las fotografías (a,b), muestran la cámara focal utilizada en el ensayo número dos; la imagen de la fotografía (c) presenta la cámara acoplada a un tubo transparente en la alimentación y frente a ella dos tubos transparentes para observar el nivel de agua que presenta.

Experimento XI

Después de analizar los fenómenos obtenidos en el experimento X, realizamos otra modificación al modelo cuatro. Sustituimos el tubo transparente por uno de cobre de 13 mm de diámetro, que va conectado de la válvula check a la cámara, acoplando en él un manómetro. El objetivo es observar la existencia de presión en dicho tubo y la temperatura que se presenta en esa zona (cf. fig. 7.20).

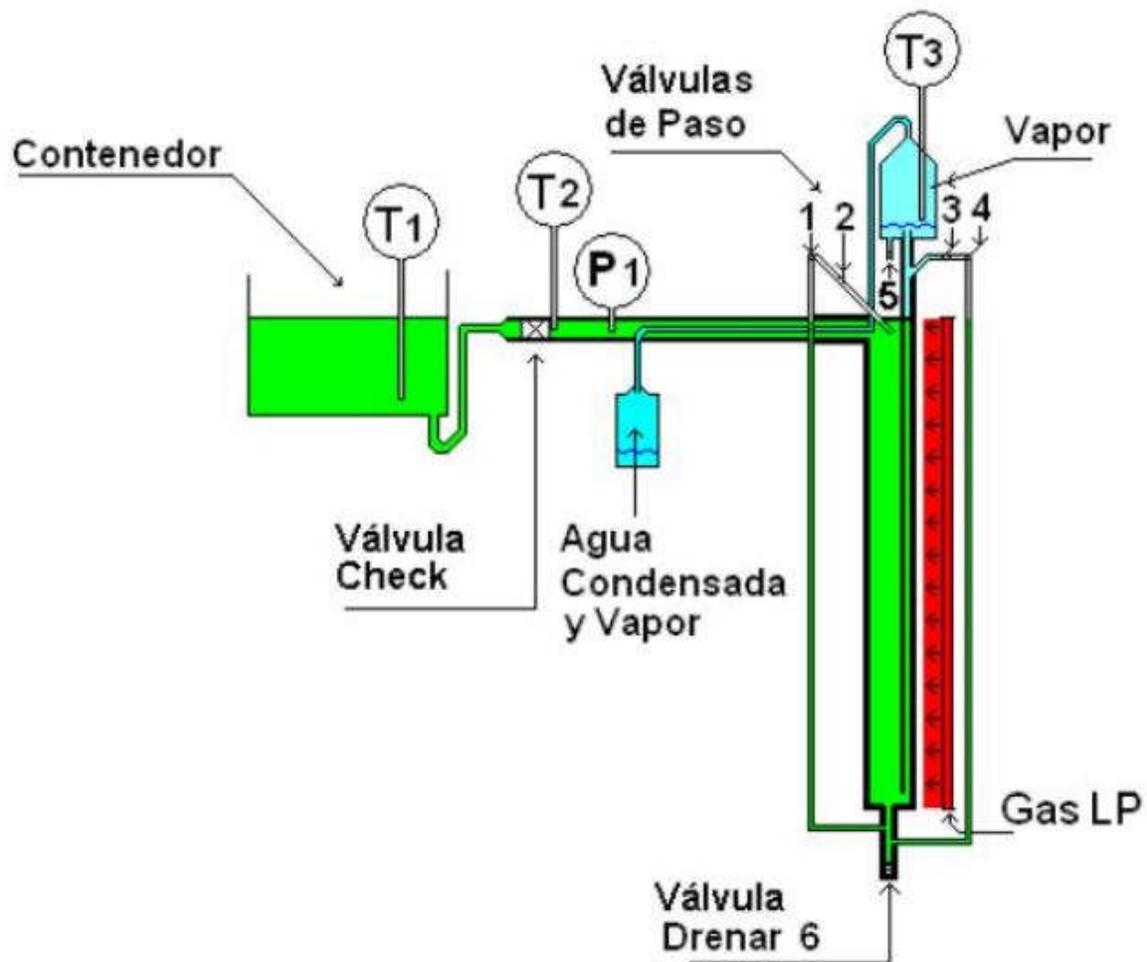
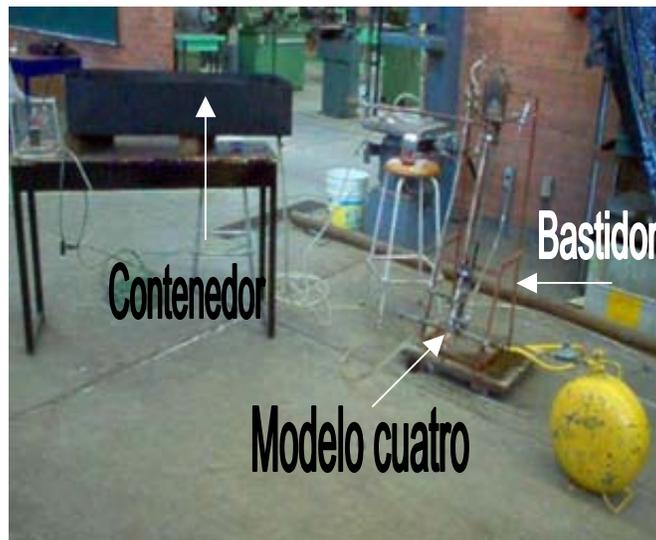


Figura 7.20. Montaje del modelo cuatro de la cámara focal, se puede apreciar la presencia de tres sensores de temperatura (T_1, T_2, T_3) y un manómetro (P_1) acoplado en el tubo de alimentación.

Realizamos el montaje del modelo cuatro modificado y de nuevo aplicamos calor a la cámara. En este proceso logramos apreciar la existencia de presión en el tubo de alimentación durante todo el experimento (cf. fig.7.21). Ahora sabemos que existe una fuerza que detiene el flujo y sella la válvula check. Fenómeno que ocasiona la falta de agua y el llenado natural de la cámara (cf. tablas EXP XI (a, b) pág. 89).



(c)

Figura 7.21. En las imágenes de las fotografías (a, b) podemos apreciar la conformación del modelo cuatro de la cámara, donde se puede observar el tubo de cobre con un manómetro acoplado y en seguida un sensor de temperatura. La imagen (c) muestra el montaje del mismo modelo. podemos apreciar el contenedor, la cámara suspendida en el bastidor y el recipiente para gas en el piso.

Con el montaje del modelo cuatro y el calentamiento constante con gas LP, logramos apreciar la existencia de presión en el tubo de alimentación durante todo el experimento. Ahora sabemos que existe una fuerza que detiene el flujo y sella la válvula check. Fenómeno que ocasiona la falta de agua y el llenado natural de la cámara.

Experimento XII

El resultado anterior permite rediseñar el modelo cuatro. Procedimos ahora a montar una bomba para llenar la cámara, por medio de un tubo soldado inmediatamente después de la válvula check. Proponemos que la bomba funcione automáticamente, regulando su funcionamiento con la variación de la temperatura (T_2), misma que debe arrancar cuando registra 90°C , pero que se para al caer por debajo de 86°C (cf. fig. 7.22).

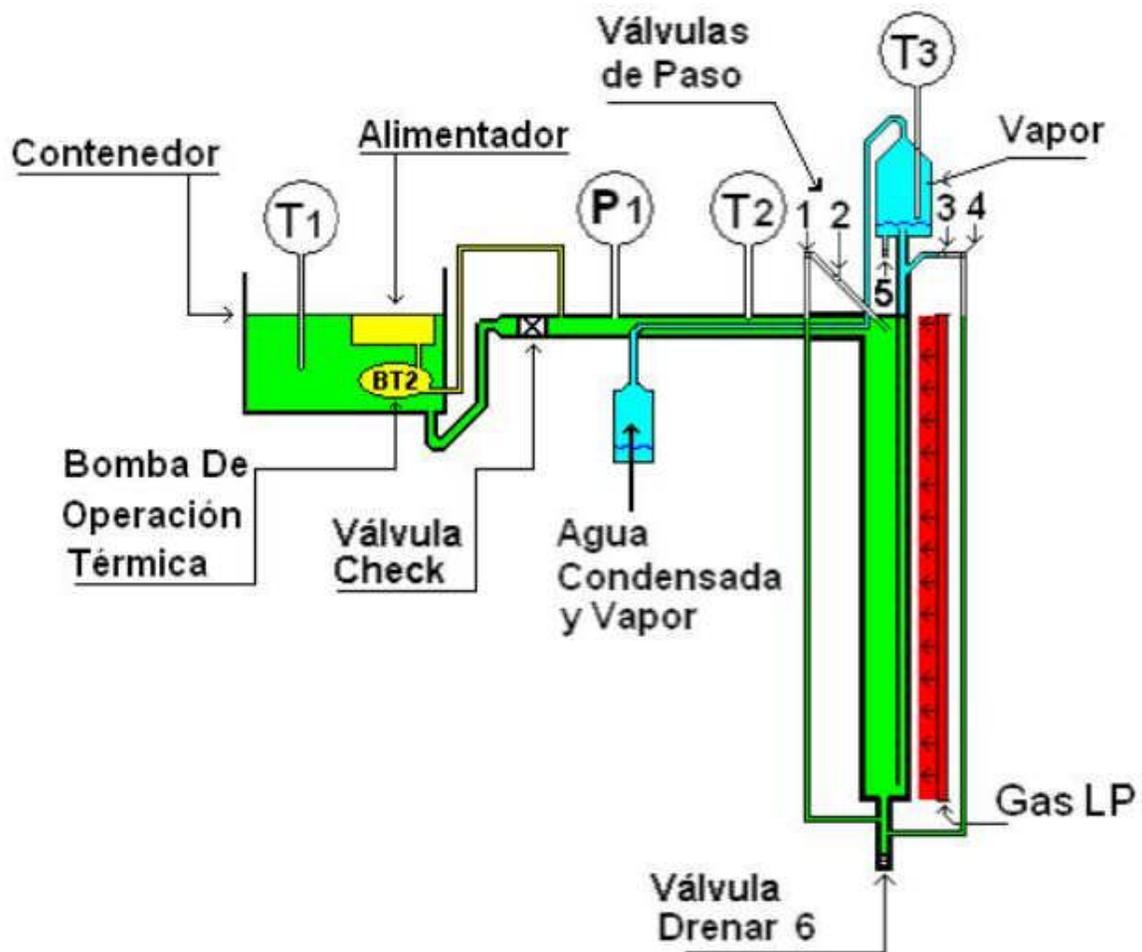


Figura 7.22. Esquema del montaje de calentamiento de agua con gas LP. Donde se muestran dos tubos de nivelación en los costados de la cámara mismos que contienen en la parte superior válvulas de paso, además se cuenta con tres termómetros que sensan la temperatura en el contenedor (T_1), en el tubo de alimentación (T_2) y en la trampa de vapor (T_3), un manómetro que registra la presión en el tubo de alimentación (P_1). Se puede observar un tubo pequeño en la salida de la trampa de vapor, que atraviesa el tubo de alimentación para precalentar el agua en la entrada de la cámara. Además este sistema contiene un circuito alimentador con una bomba (BT_2) controlada automáticamente.

Siendo la respuesta del sensor térmico (T2) lenta, ocasiona que la bomba permanezca funcionando, llenando la cámara y la trampa de vapor, generándose un flujo continuo hacia el recipiente de condensado (cf. fig. 7.23). drenamos la trampa de vapor e iniciamos de nuevo el experimento. Como sigue presentándose el mismo fenómeno finalizamos después de 2 horas el experimento (cf. tablas EXP XII (a, b) pág. 89).

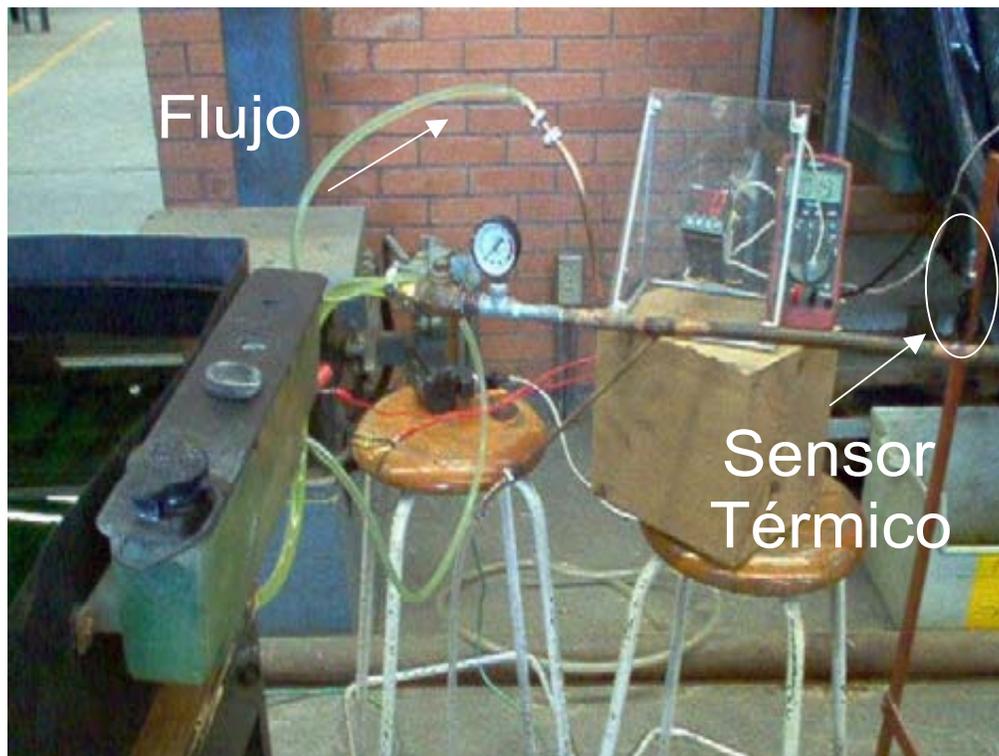


Figura 7.23. La fotografía muestra la imagen del sistema alimentador; en la parte superior se presenta una flecha en dirección del flujo inducido a la cámara a través del tubo transparente; en el extremo superior derecho se indica el sensor térmico acoplado al tubo de alimentación.

Experimento XIII

El resultado obtenido en el experimento XII, nos lleva a realizar un nuevo experimento, donde desechamos el funcionamiento automático de la bomba y utilizando el mismo modelo realizamos un nuevo intento. Ahora la operación de la bomba es manual, arranca cuando observamos en el sensor (T_2) una temperatura de $86\text{ }^\circ\text{C}$ y la paramos cuando el sensor registra la caída de $10\text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura (cf. fig. 7.24).



Figura 7.24. La imagen de la fotografía muestra el depósito que alimenta la bomba, misma que señalamos en el interior de la circunferencia.

En este experimento logramos evitar el llenado de la trampa de vapor, pero la presión en el tubo de alimentación sigue existiendo; como lo indica el manómetro y se muestra en las lecturas registradas dentro de las tablas (cf. Tablas EXP XIII (a, b, c, d) páginas 90 y 91).

Experimento XIV

Después de analizar los resultados obtenidos, realizamos otra adecuación al modelo cuatro. El nuevo diseño, permite tener un sistema de enfriamiento, con el que esperamos eliminar la presión y a la vez condensar una mayor cantidad de vapor. Cubrimos el tubo de alimentación, soldando un cilindro de cobre en su periferia, éste presenta un diámetro de 40.8 mm, con una longitud de 575 mm y lo colocamos en seguida de la válvula check y hasta el borde de la cámara (cf. fig. 7.25).

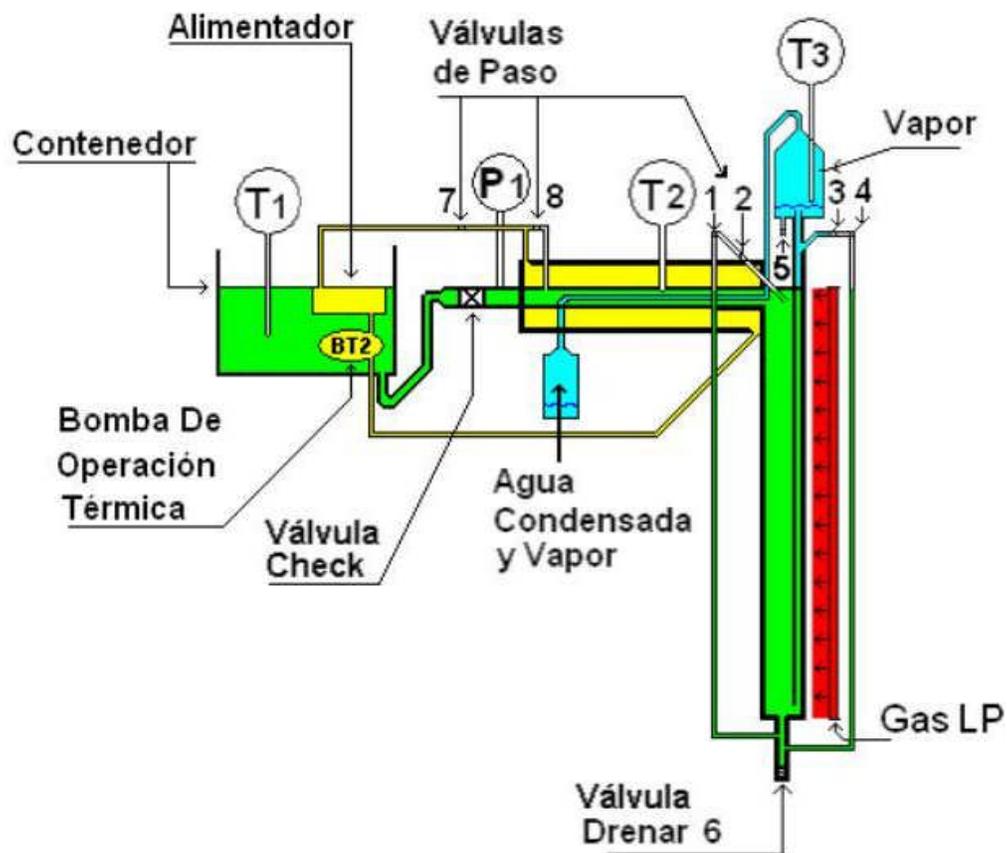


Figura 7.25. El esquema presenta el montaje del modelo cuatro de la cámara focal modificado, donde se adapta un cilindro envolviendo el tubo de alimentación después de la válvula check. Con la bomba eléctrica (BT2) llenamos el cilindro por la parte inferior y lo vaciamos en el contenedor forzando el enfriamiento del tubo de alimentación, en este evento la válvula ocho permanece cerrada. Utilizamos el mismo procedimiento cuando se requiere llenar la cámara, solo que ahora cerramos la válvula siete y abrimos la válvula ocho, haciendo fluir el agua por el tubo de alimentación hacia la cámara.

Durante el experimento aprovechamos la bomba (BT2) en el llenado del cilindro, produciendo un flujo que llega hasta el contenedor durante 960 segundos y paramos la bomba. Conforme se llenó el recipiente de agua condensada y vapor, realimentamos la cámara abriendo la válvula ocho que llega al tubo de alimentación, esto se realiza manualmente, poniendo a funcionar la bomba en el segundo 1800 durante 60 segundos. También apreciamos en el segundo 300 una condensación en el interior del tubo transparente que se encuentra conectado entre la trampa de vapor y el cilindro enfriador (cf. fig.7.26).

Finalmente drenamos la trampa de vapor, abriendo la válvula de paso número cinco; observamos que no salió agua. Pero podemos decir que la cámara si se encuentra abastecida ya que los niveles transparentes muestran la altura del agua (cf. tabla EXP XIV pág. 92).



(a)



(b)

Figura 7.26. La imagen de la fotografía (a) muestra en el extremo superior derecho la trampa de vapor conectada a un tubo transparente; la imagen (b) presenta el recipiente para acumular el condensado.

Experimento XV

Continuamos el experimento con el mismo montaje, realizando una segunda etapa, tomamos el segundo 1860 como el tiempo cero y registramos las lecturas en ese instante. Ahora enfriamos paulatinamente el agua del tubo de alimentación, generamos un flujo que dura 1800 segundos, poniendo a funcionar la bomba manualmente cada 300 segundos.

En esta etapa del experimento el manómetro no registra lectura alguna, lo que indica que el tubo de alimentación carece de presión (cf. Fig. 7.27). Lográndose acumular 223 ml de agua condensada. Durante los dos experimentos el consumo de gas es de 168 gr (cf. tabla EXP XV pág. 92).



Figura 7.27. La fotografía presenta en su imagen el modelo cuatro durante el experimento, donde podemos apreciar en la parte superior izquierda el manómetro y en el extremo derecho el recipiente para gas.

7.7. Montaje del destilador, aprovechando la energía solar en el modelo cuatro de la cámara focal

Experimento XVI

Procedimos a experimentar el destilador solar utilizando el modelo cuatro de la cámara focal. Acoplamos cada uno de sus elementos, exhibiendo la cámara focal a la radiación solar reflejada por el concentrador parabólico (cf. fig. 7.28).

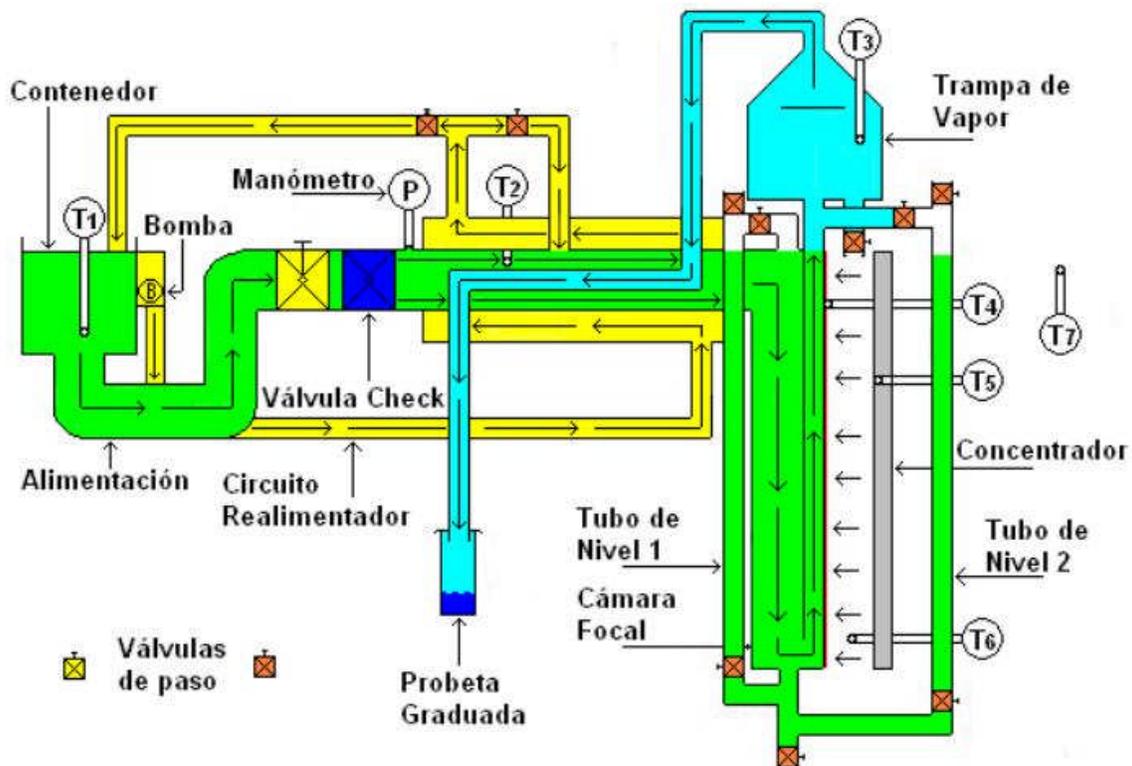


Figura 7.28. Esquema del acoplamiento del destilador solar utilizando el modelo cuatro de la cámara focal. Simulamos la radiación solar reflejada por una serie de flechas que salen del concentrador a la cámara. Se pueden apreciar los termómetros (T_1 a T_7), para el registro de las temperaturas en el experimento con el destilador, el flujo de agua en el sistema se indica con una serie de flechas durante su trayectoria, el nivel de agua que presenta la cámara lo muestran los tubos respectivos, el circuito realimentador permite enfriar el vapor que sale de la trampa y también abastecer la cámara, cuando esta lo requiera; esto lo podemos lograr abriendo y cerrando las válvulas de paso presentes en el circuito.

Iniciamos el experimento colocando cada uno de los elementos que componen el destilador (helióstato – concentrador - cámara) sobre la línea que indica el Norte-Sur geográfico, trazada previamente, llenamos la cámara y observamos la altura del agua con el nivel que describen los tubos, enfocamos manualmente la imagen del sol sobre la cresta de la cámara focal dentro de la ventana y la dejamos fija. Al llegar a este paso arrancamos el motor que mantiene girando al helióstato. La línea focal medida con un vernier presenta un ancho de 2 mm.

Se pudo observar durante el experimento el desenfoque que presenta la imagen del sol, aproximadamente 0.5 mm, corrigiendo este manualmente cada que tomamos lecturas.

Por último las lecturas que registró el termómetro conectado en la trampa de vapor indican que solo se calentó el agua del sistema (cf. fig. 7.29). Concluimos que el calor es disipado por los elementos que no están forrados, como son, tubos de nivel y válvulas de paso (cf. tabla EXP XVI pág. 93).



Figura 7.29. Las imágenes de las fotografías muestran el destilador expuesto a la radiación solar, en la imagen (a) se puede apreciar el señalamiento de los tubos de nivel, en la imagen (b) se indican las válvulas que regulan dichos tubos.

Experimento XVII

Analizamos los resultados obtenidos en el experimento XVI. Procedimos a realizar adecuaciones al modelo cuatro. Retiramos los niveles y cubrimos con fibra de vidrio todos los elementos que estaban sin forrar y con el mismo procedimiento realizamos un segundo intento (cf. fig.7.30).

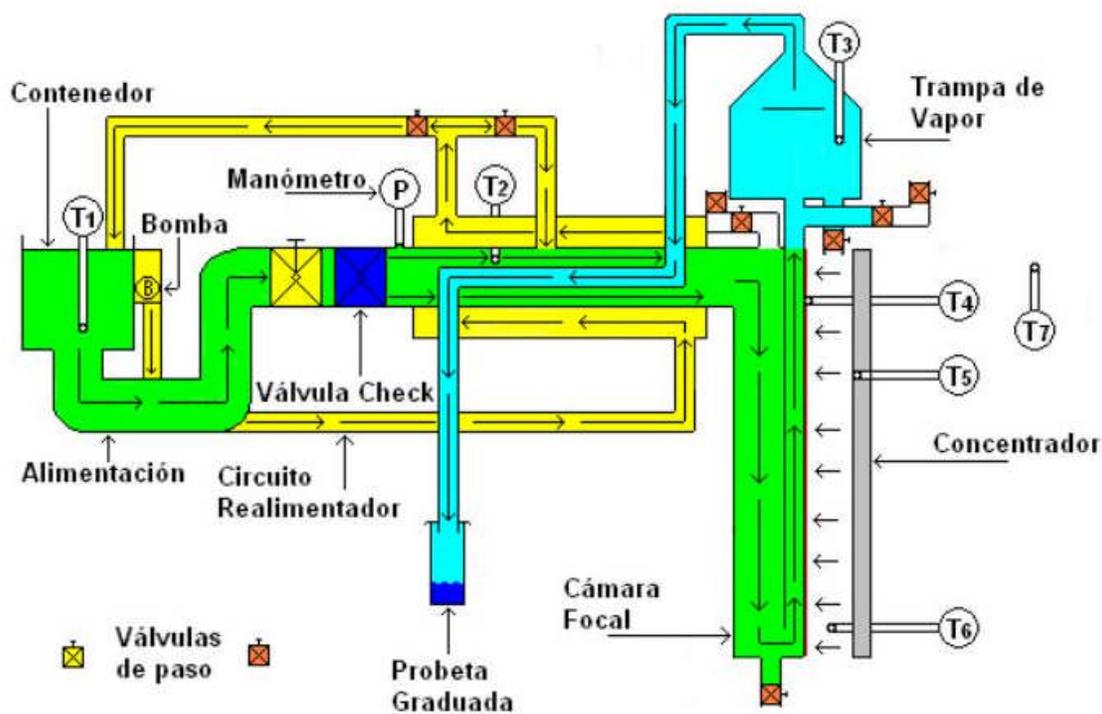


Figura 7.30. Montaje del destilador utilizando el modelo cuatro de la cámara focal ya sin los niveles.

Con las adecuaciones realizadas solo se logran acumular 12 ml de agua condensada durante cuatro horas, considerando que es una producción pequeña de volumen. Pudiendo concluir que el tamaño de la trampa de vapor afecta la producción de vapor y a pesar de esto decidimos desechar el modelo cuatro de cámara focal (cf. tabla **EXP XVII** pág. 93).

7.8. Montaje del destilador solar aplicando el modelo tres de la cámara focal, acoplado con una bomba eléctrica.

Experimento XVIII

Considerando los resultados obtenidos en los experimentos anteriores, decidimos regresar al modelo tres haciéndole algunas modificaciones. Acoplar una la bomba eléctrica desde el contenedor hasta la entrada del tanque de alivio, regulando la inyección con una válvula de paso (cf. ig. 7.31). conviene notar que esta cámara focal tiene una capacidad de 370 ml de agua.

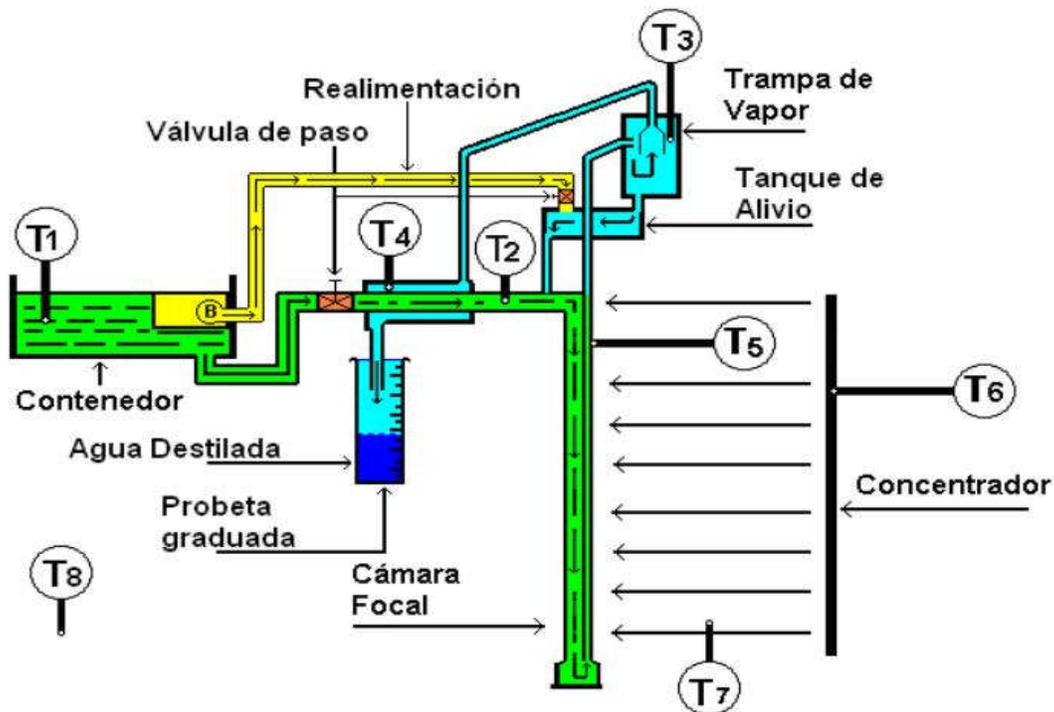


Figura 7.31. Montaje experimental correspondiente al modelo tres modificado. El flujo de agua hacia la cámara se muestra por medio de flechas en el interior de los tubos que la conforman; la trampa de vapor incluye un tubo en la parte superior, conectado con un cilindro que envuelve el tubo de alimentación y que termina en la probeta graduada. La bomba eléctrica B, regulada por una válvula, inyecta agua a la cámara conforme se acumula en la probeta.

Este experimento no produce mucho agua, ya que solo se acumulan 6 ml de agua destilada en 2.16 horas. Como puede verse con detalle en la tabla EXP XVIII de la página 94. Procedimos a desconectar el tubo de realimentación y al abrir la válvula de paso acoplada al tanque de alivio y que es la misma que controla el llenado de la cámara, salió agua caliente, este fenómeno muestra que el tanque de alivio se encontraba lleno durante el experimento.

Experimento XIX

Para resolver el problema anterior, volvemos a utilizar el modelo tres de la cámara focal modificada y en previsión de que el tanque de alivio se encuentre vacío, vaciamos este tan pronto comprobamos que la misma cámara estuviera llena. Esto se puede lograr confirmando el nivel de agua al abrir la válvula de paso que regula la inyección (cf. fig. 7.32). En este nuevo experimento observamos una destilación continua, acumulando un total de 65.5 ml en 2.83 horas. Los detalles están registrados en la tabla EXP XIX (a) de la página 67.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.32. Las imágenes de las fotografías (a, b), muestran los instrumentos que registran las temperaturas acoplados al concentrador; la imagen (c) presenta un costado del concentrador suspendiendo un matraz con el condensado acumulado; la imagen (d) exhibe el destilador solar.

8. Evaluación Energética del Destilador

Considerando las definiciones realizadas en el capítulo 7, realizamos el balance energético del experimento XIX que desarrollamos con el destilador.

Los datos del experimento se muestran en las tablas EXP XIX (a, b, c, pág. 67,68,69). En la tabla (a) puede notarse que hay ocho columnas de temperatura, la columna cero con el tiempo. En seguida vienen las columnas de radiación solar, potencia incidente, velocidad del viento y el volumen por acumular. Todos son de tipo real, excepto la columna del tiempo que es numérica.

Todas las temperaturas están en grados centígrados, el tiempo en segundos, la radiación solar en watts/m^2 , la potencia incidente en watts, la velocidad del viento en m/s y el volumen por acumular en m^3 .

TIEMPO	TEMPERATURA °C								RADIACIÓN SOLAR I_s	POTENCIA INCIDENTE Q_s	VELOCIDAD VIENTO	VOLUMEN ACUMULADO
	CÁMARA					SUPERFICIE CONCENTRADOR	AIRE	M. A.				
	INTERIOR		EXTERIOR									
s	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	W/m^2	W	m/s	m^3
0	24	37	45	28	95	35	25	22	920.93	198	1.62	0
600	25	40	90	36	104	36	31	23	953.49	205	1.14	0(Inicia goteo)
1200	26	59	91	54	104	36	22	23	944.19	203	1.72	0
1800	27	69	91	66	105	39	33	22	934.88	201	1.24	0
2400	28	83	93	89	104	40	31	23	934.88	201	1.61	2 E-6*
3000	29	84	94	90	104	41	30	24	934.88	201	1.24	9 E-6
3600	29	82	90	90	115	43	38	24	930.23	200	1.39	2.5 E-6
4200	30	85	90	92	126	41	33	24	953.49	205	2.06	6 E-6
4800	31	84	86	91	118	39	32	25	934.88	201	2.21	4.5 E-6
5400	32	84	86	91	128	42	32	26	930.23	200	2.06	6.5 E-6
6000	33	84	86	93	129	41	31	27	934.88	201	2.12	6 E-6
6600	33	84	88	92	121	45	32	27	939.53	202	1.64	3.5 E-6
7200	33	84	87	91	115	37	31	26	930.23	200	1.76	5 E-6
7800	34	81	86	89	120	43	31	26	934.88	201	1.57	2 E-6
8400	34	84	92	88	126	48	32	26	925.58	199	1.61	3.5 E-6
9000	34	84	88	91	120	45	32	26	930.23	200	1.18	4 E-6
9600	34	84	89	95	124	47	32	26	948.84	204	1.22	6 E-6
10200	35	84	88	92	119	48	32	27	967.44	208	1.27	5 E-6
* E-6 = $\times 10^{-6}$											TOTAL	65.5 E-6

Tabla EXP XIX (a)

Los datos de las potencias obtenidas en el concentrador se encuentran en la tabla EXP XIX (b). Pueden notarse siete columnas de potencia en watts; en la columna dos se presenta la potencia incidente afectada por el factor reflectivo de la superficie, la potencia que radia el concentrador de acuerdo a la ecuación de Steffan-Boltzman se muestra en la columna tres, la potencia que absorbe el concentrador en la columna cuatro. Las columnas cinco, seis y siete, muestran la potencia que emite el concentrador y en la columna ocho se muestra la potencia que refleja el concentrador a la cámara focal.

TIEMPO	CONCENTRADOR							
	POTENCIA W							EFICIENCIA
	INCIDENTE	DE RADIACIÓN	INTERNA	EMITE = QC		TO TAL		
s	Q_s	P_R	$\Delta U = mc\Delta T/\Delta t$	AIRE	M. A.	CONSUME	REFLEJA	$\eta \%$
0	132	91	0	9	12	21	70	53
600	137	92	1	5	12	18	74	54
1200	136	91	0	13	12	25	66	48
1800	134	95	2	6	16	24	71	53
2400	134	92	1	9	16	26	66	49
3000	134	92	1	11	16	28	64	48
3600	134	93	1	5	18	24	69	52
4200	137	89	0	8	16	24	65	47
4800	134	89	0	7	13	20	76	57
5400	134	95	2	10	15	27	68	51
6000	134	90	0	10	13	23	74	55
6600	135	96	2	13	17	32	64	47
7200	134	85	0	6	10	16	88	66
7800	134	99	4	12	16	32	67	50
8400	133	97	3	16	21	40	57	43
9000	134	89	0	13	18	31	64	48
9600	136	93	1	15	20	36	57	42
10200	139	92	1	16	21	38	54	39

Tabla EXP XIX (b)

Los datos de las potencias obtenidas en la cámara se encuentran en la tabla EXP XIX (c). Pueden notarse nueve columnas de potencia en watts; Las columnas dos, tres, cuatro y cinco, muestran la potencia que emite la cámara, las potencia que absorbe la cámara se presenta en las columnas seis, siete, ocho y nueve; la potencia total que se consume en la cámara se muestra en la columna diez y la eficiencia del sistema se muestra en la columna once.

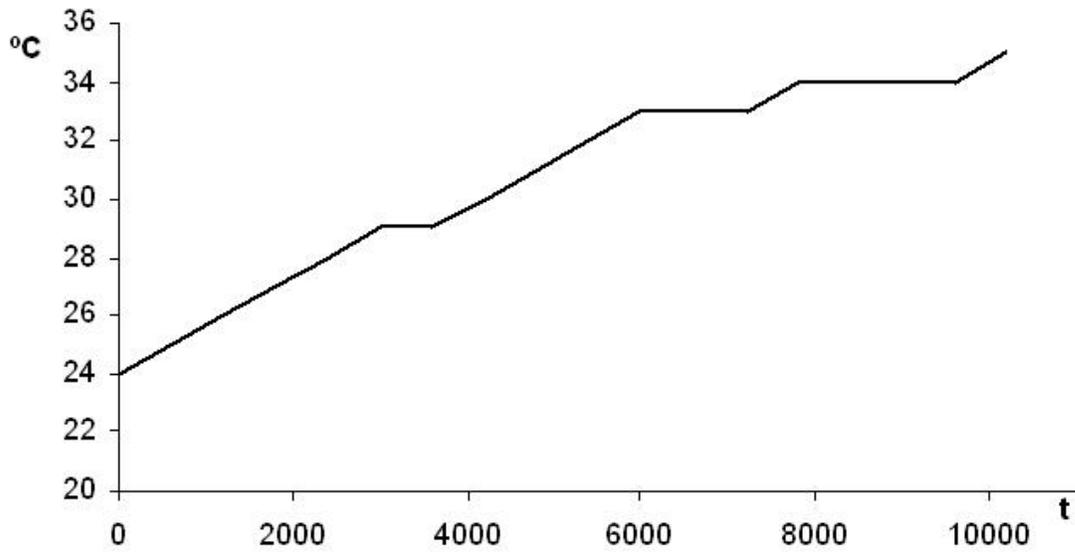
TIEMPO	CÁMARA									η
	POTENCIA W									
	EMITE				ABSORVE				Qcn	
s	Aire	M. A	P. R	Qe	Cu	Agua	V. P.	Qa		
0	0.1117	0.1266	0.4882	0.7265	9	22	0	31	32	46
600	0.4212	0.4624	0.8289	1.7125	5	11	0	16	19	26
1200	0.4765	0.4716	0.8381	1.7862	8	15	0	23	27	41
1800	0.4195	0.4765	0.8381	1.7341	7	12	0	19	22	32
2400	0.4489	0.4902	0.8566	1.7957	11	20	0	31	35	53
3000	0.4637	0.4946	0.8660	1.8243	11	20	3	34	38	60
3600	0.3823	0.4574	0.8289	1.6686	13	24	1	38	41	59
4200	0.4103	0.4574	0.8289	1.6967	14	22	2	38	42	64
4800	0.3798	0.4165	0.7930	1.5893	14	21	2	37	40	52
5400	0.3798	0.4114	0.7930	1.5842	12	21	2	35	39	57
6000	0.3852	0.4063	0.7930	1.5845	13	26	2	41	45	60
6600	0.3977	0.4241	0.8108	1.6325	13	24	1	38	41	64
7200	0.3941	0.4203	0.8018	1.6162	12	21	2	35	38	43
7800	0.3852	0.4114	0.7930	1.5896	12	24	1	37	40	60
8400	0.4342	0.4658	0.8473	1.7473	9	15	1	25	29	51
9000	0.3977	0.4292	0.8108	1.6377	12	21	1	34	37	58
9600	0.4067	0.4382	0.8198	1.6647	14	30	2	46	50	87
10200	0.3977	0.4241	0.8108	1.6325	12	24	2	38	41	76

Tabla EXP XIX (c)

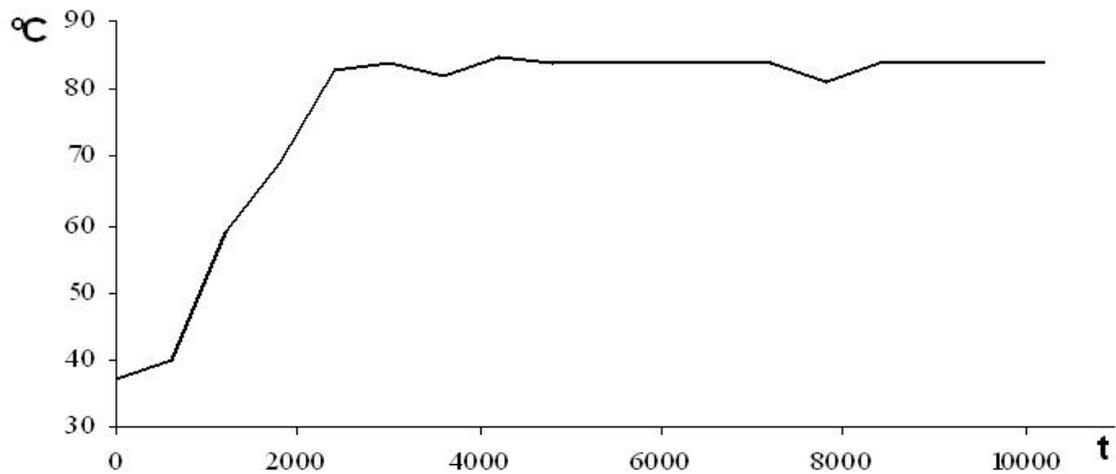
9.- Curvas de la evaluación energética del destilador

9.1.- Curvas de la tabla EXP. XIX (a)

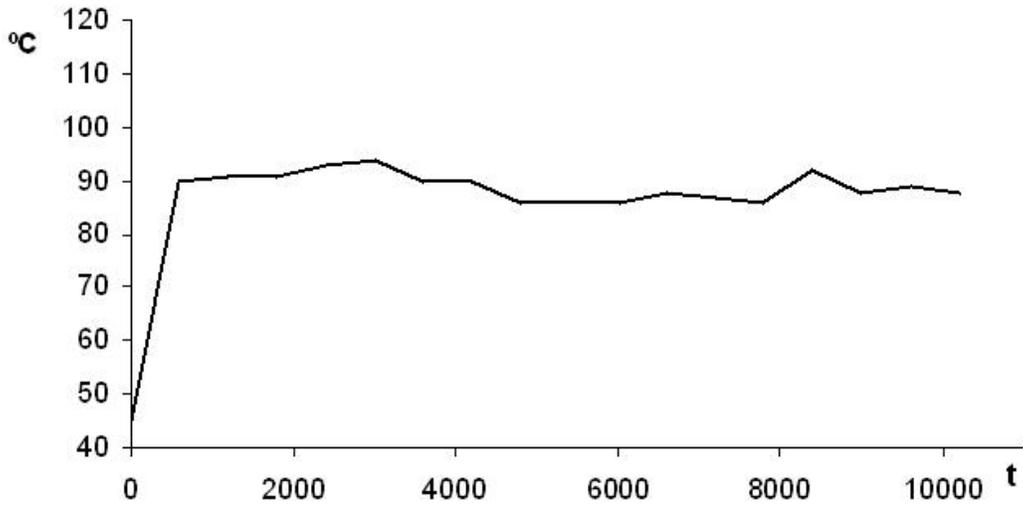
Las curvas de las lecturas de los termómetros T₁ a T₈ se presentan de la página 70 a la página 73



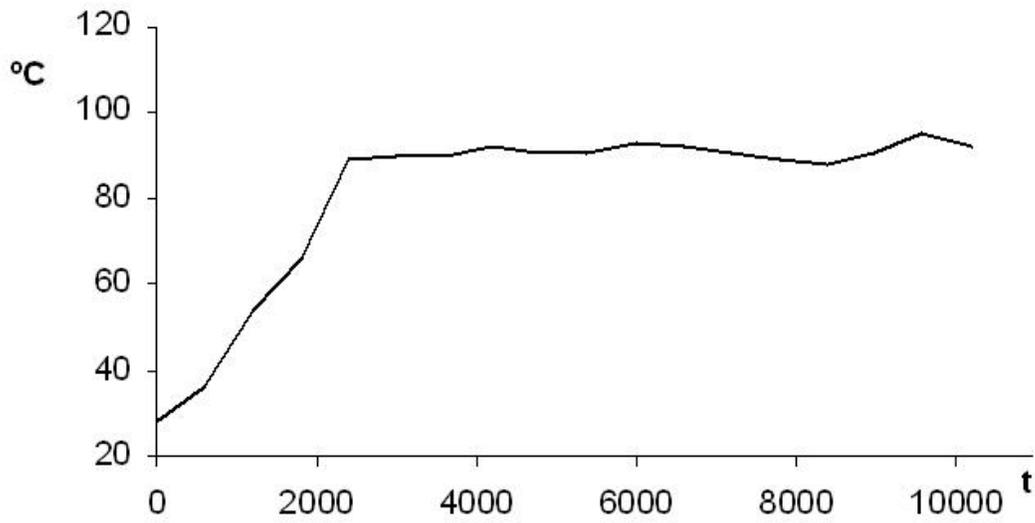
Termómetro T₁ en el contenedor



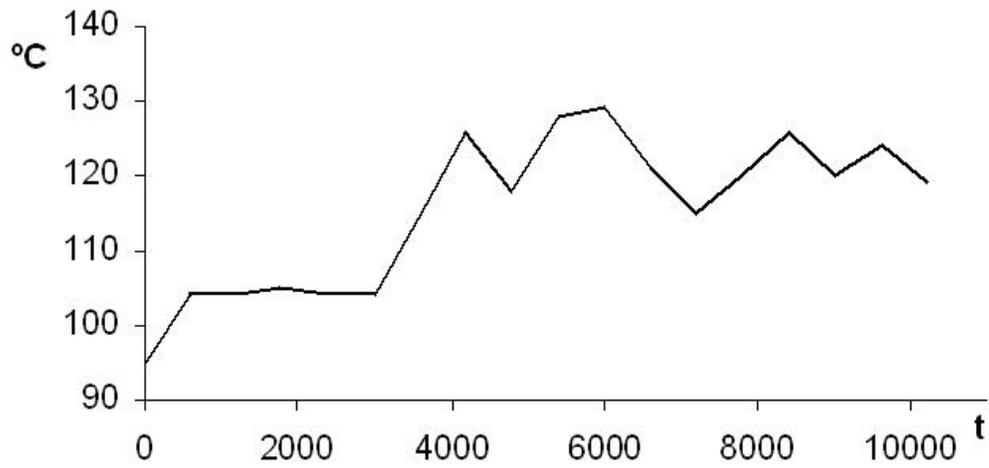
Termómetro T₂ Interior cámara



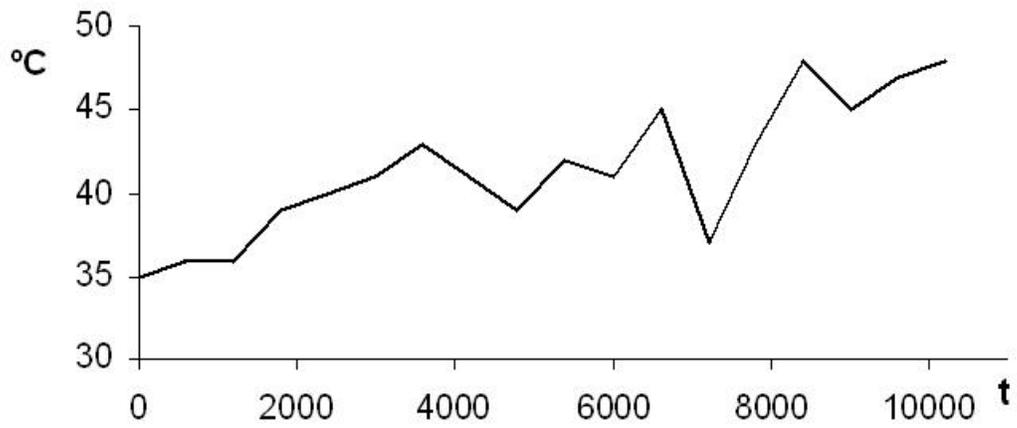
Termómetro T₃ Interior cámara



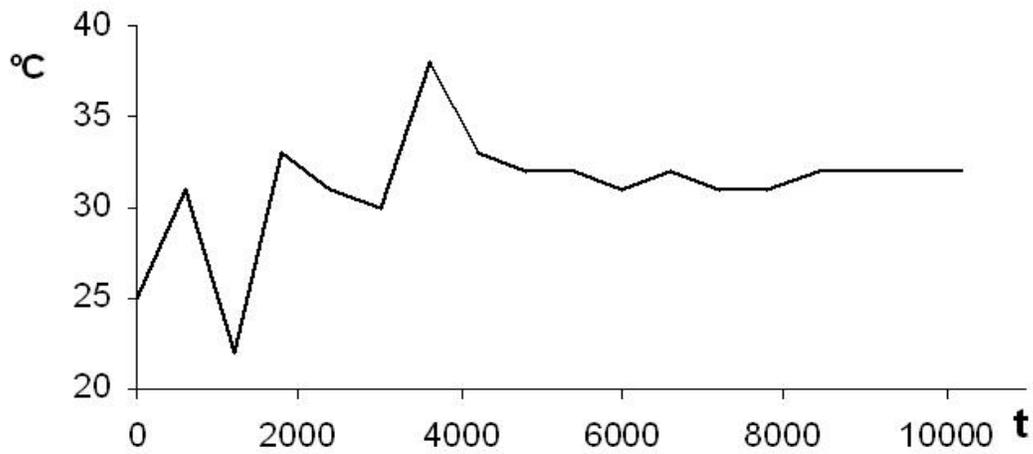
Termómetro T₄ Interior cámara



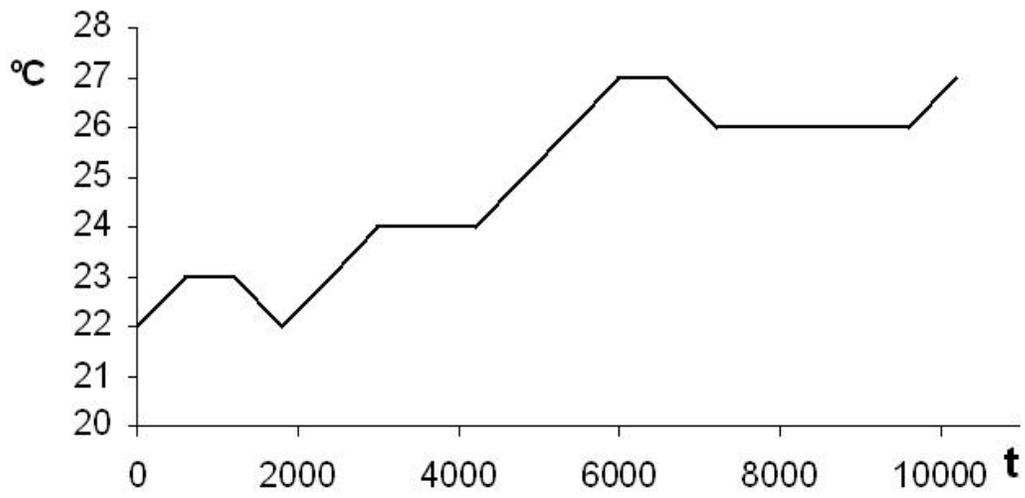
Termómetro T₅ Línea focal en la cámara



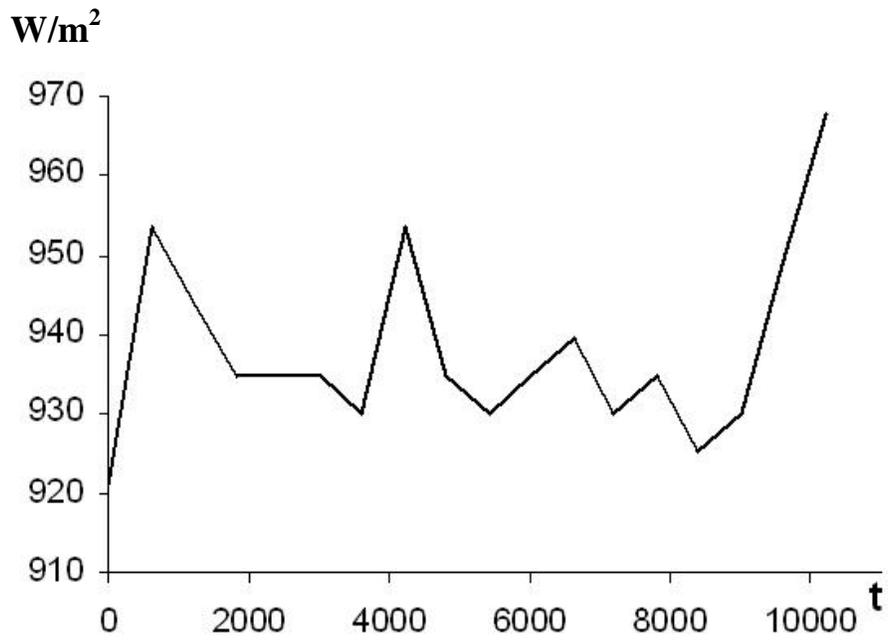
Termómetro T₆ superficie reflejante concentrador



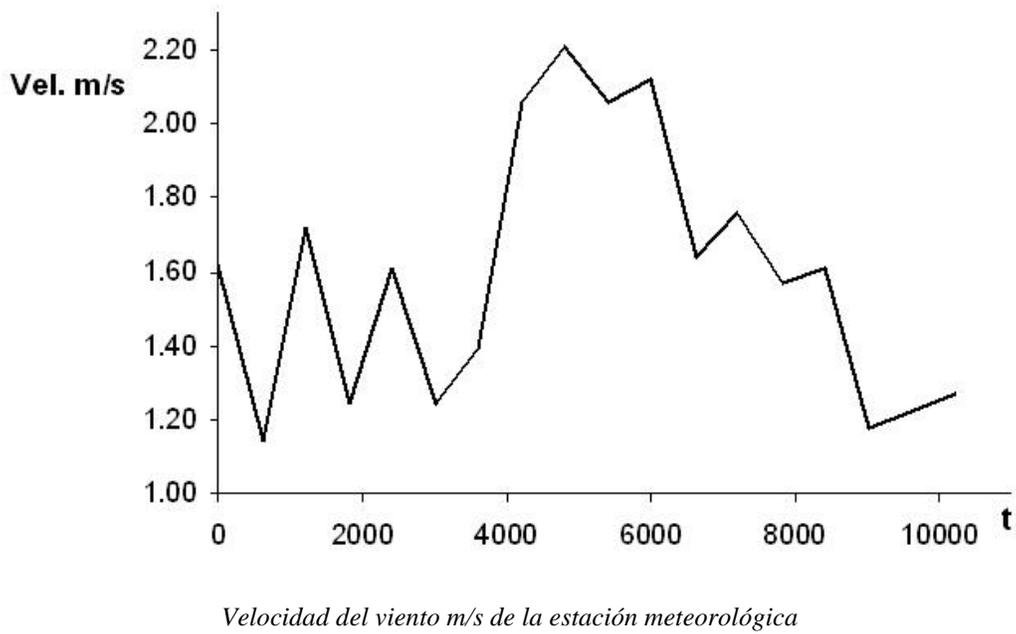
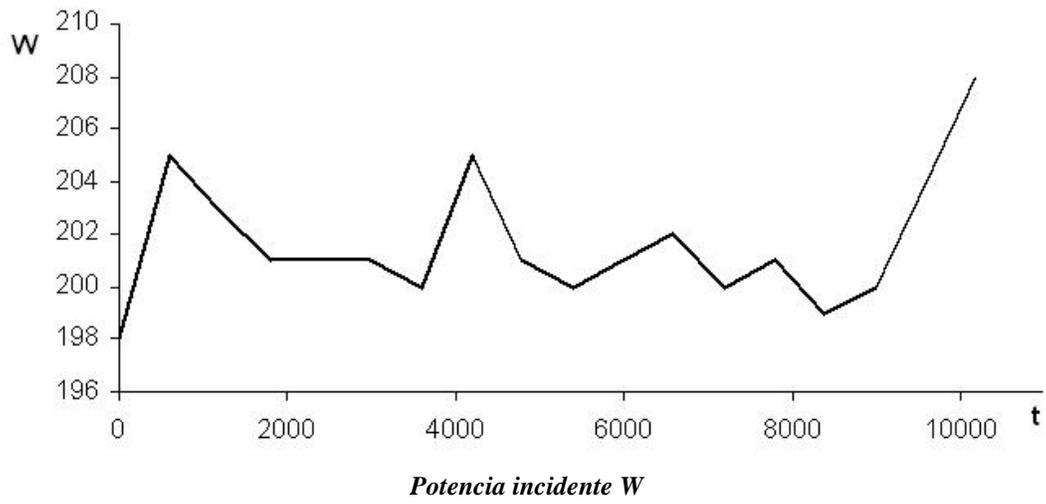
Termómetro T₇ Temperatura aire entre el concentrador y la cámara

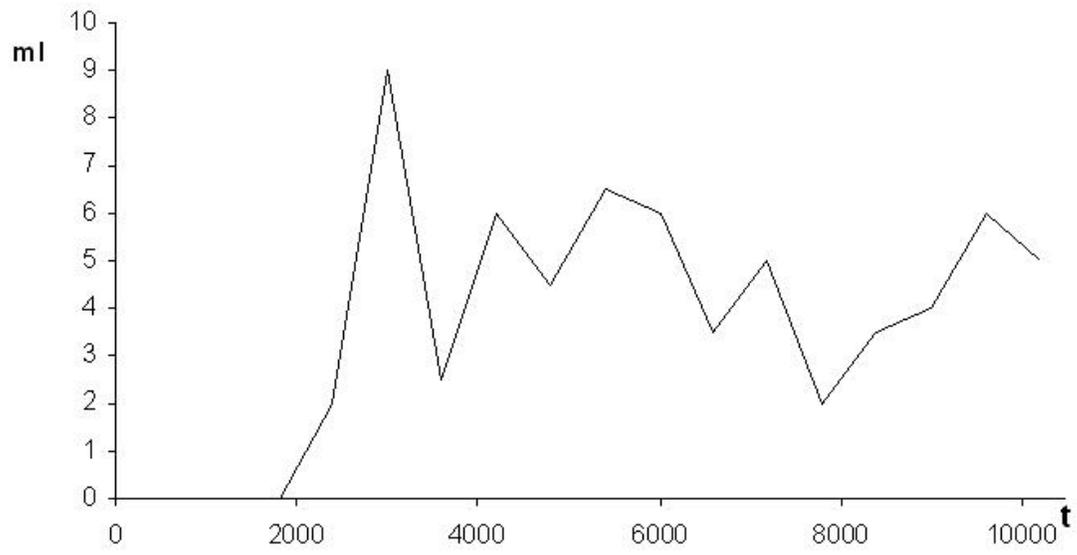


Termómetro T_s Temperatura del medio ambiente

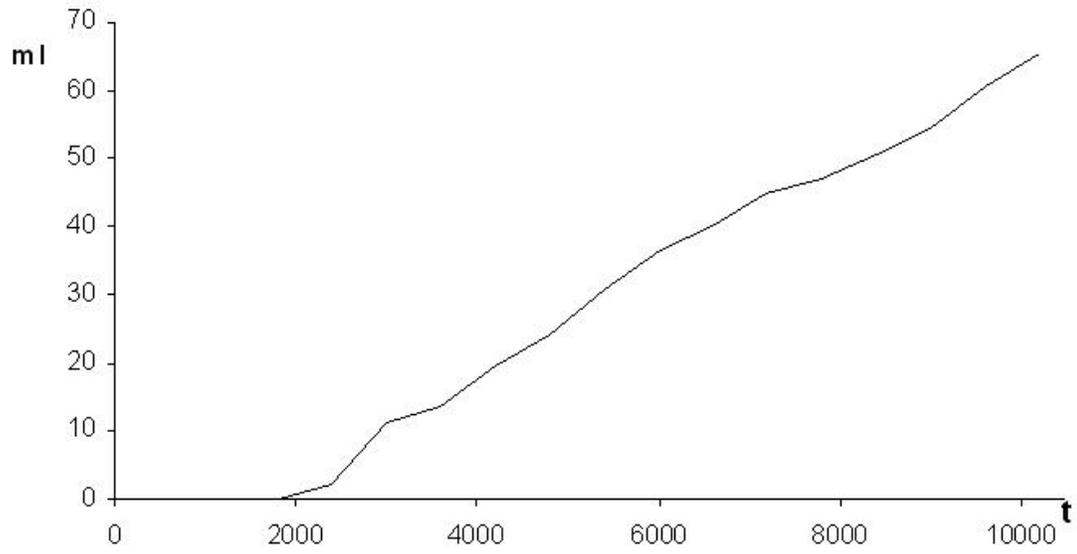


Radiación solar W/m^2 de la estación meteorológica





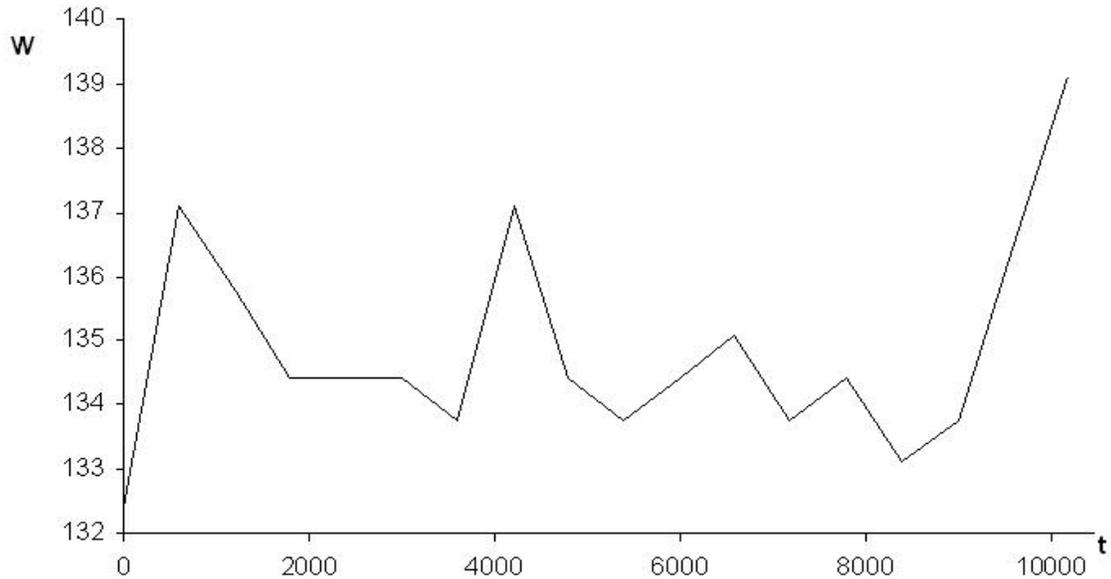
Volumen por acumular ml



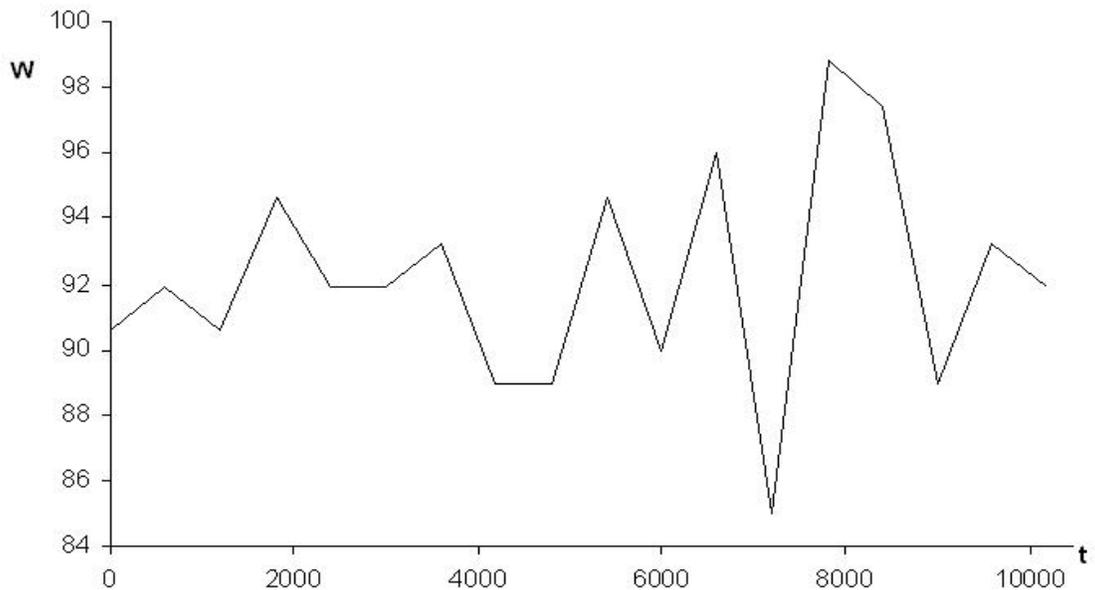
Volumen Acumulado

9.2. Curvas de la evaluación energética del concentrador

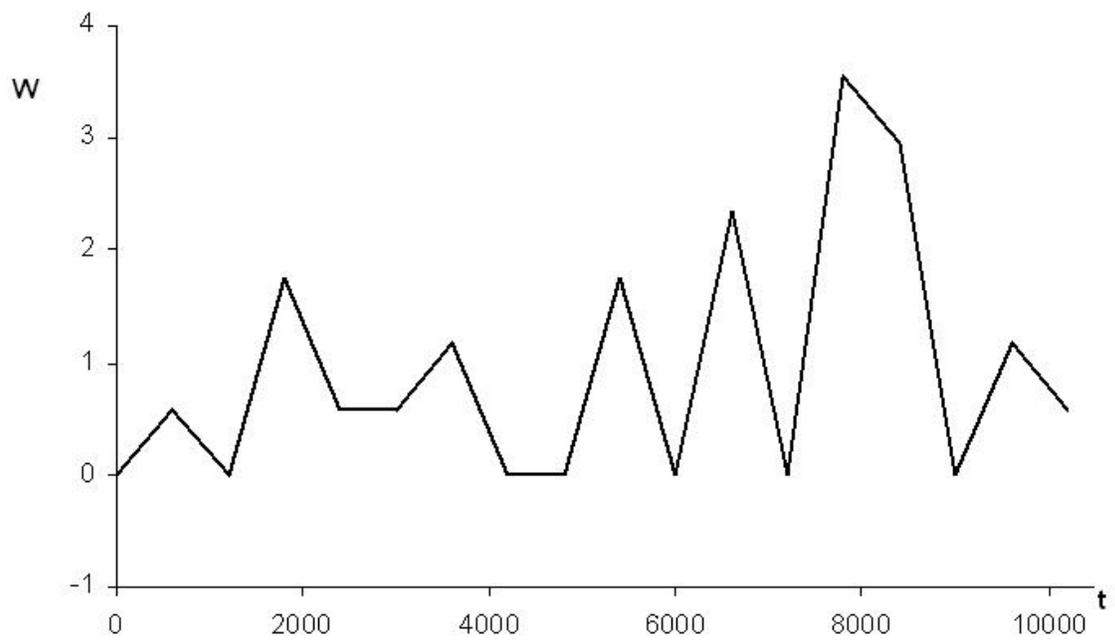
Las curvas de las potencias obtenidas en el concentrador del experimento EXP XIX se muestran en las páginas (76 a 79).



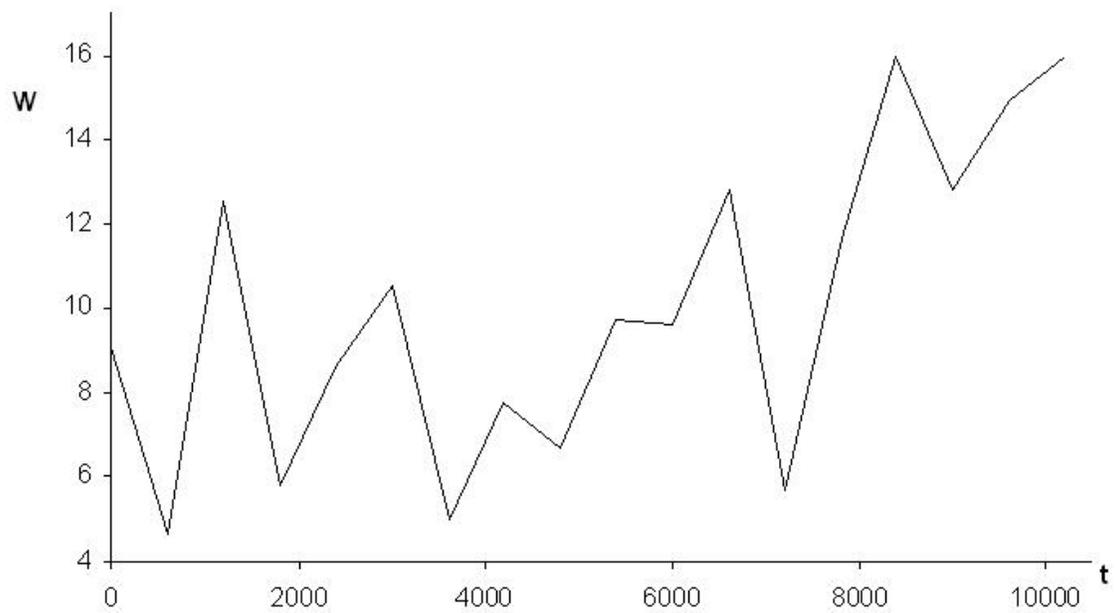
Potencia incidente afectada por el factor de reflejancia de la superficie del concentrador



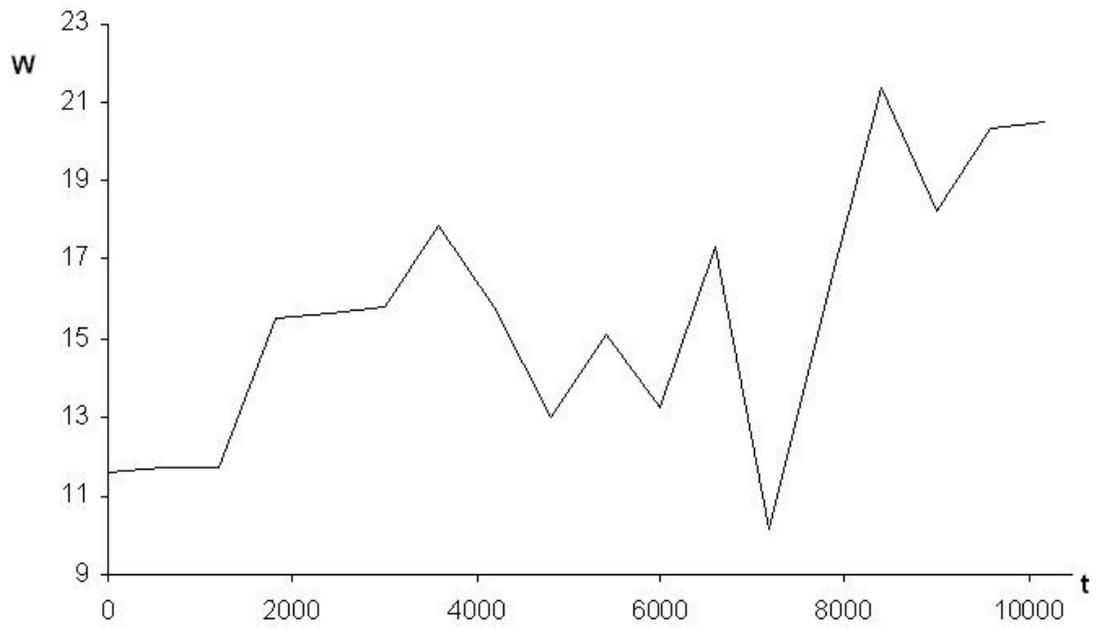
Potencia de radiación con la Ec. Stefan-Boltzmann afectada por la reflejancia del concentrador



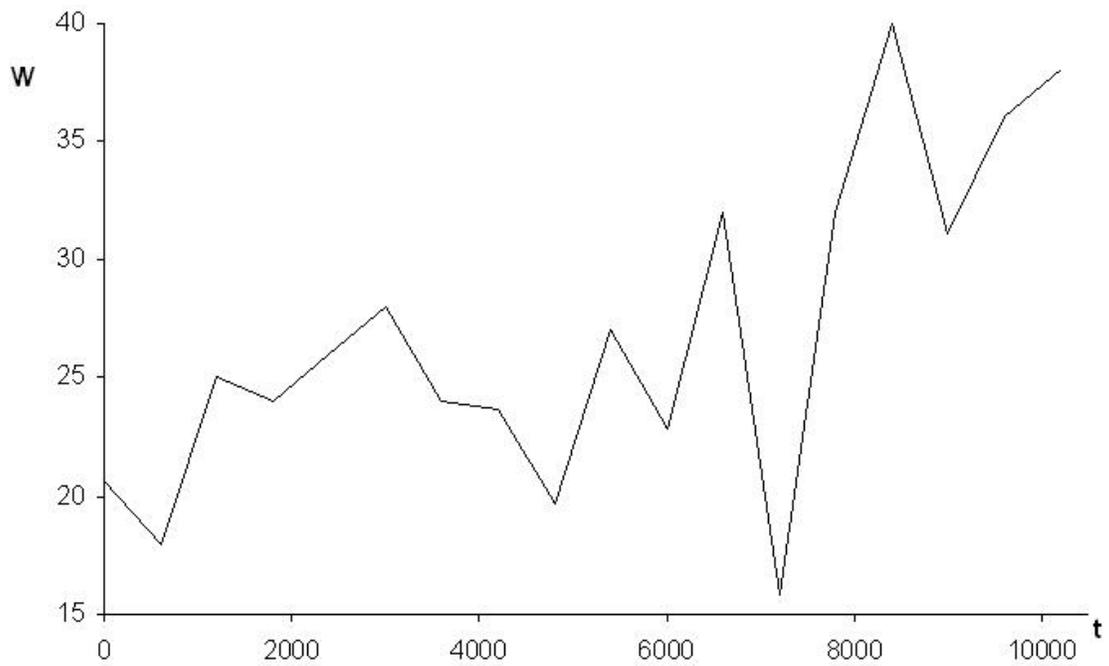
Potencia que absorbe la superficie del concentrador



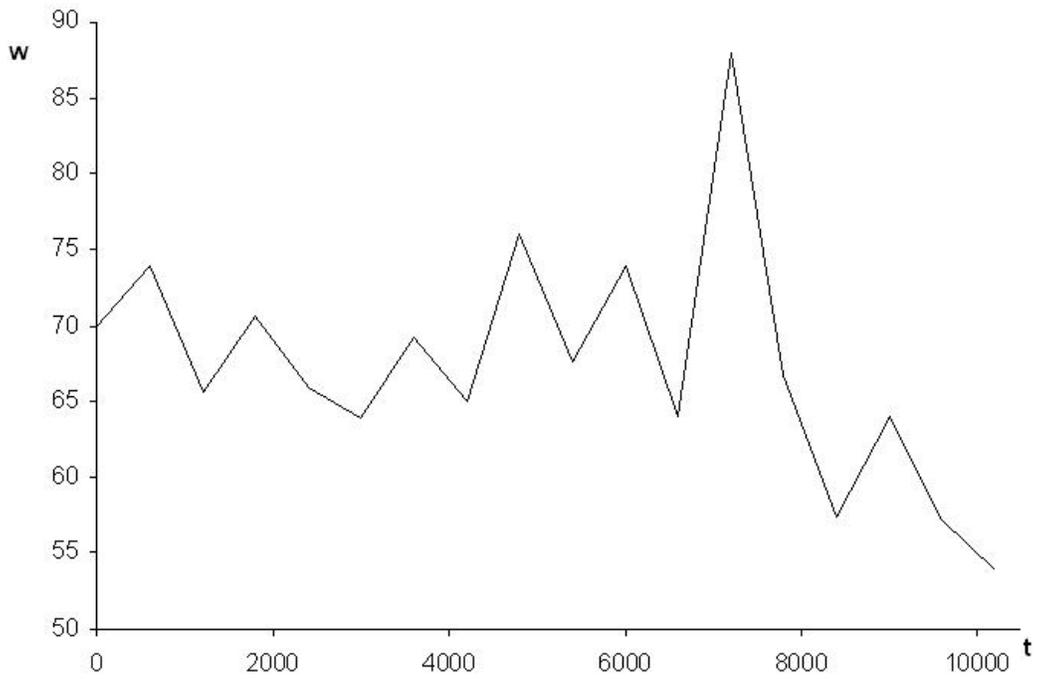
Potencia que emite al aire el concentrador



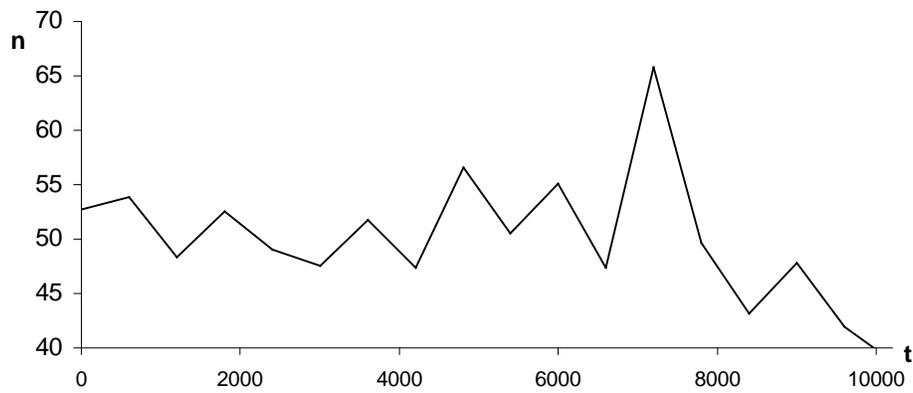
Potencia que emite al medio ambiente el concentrador



Potencia que consume el concentrador



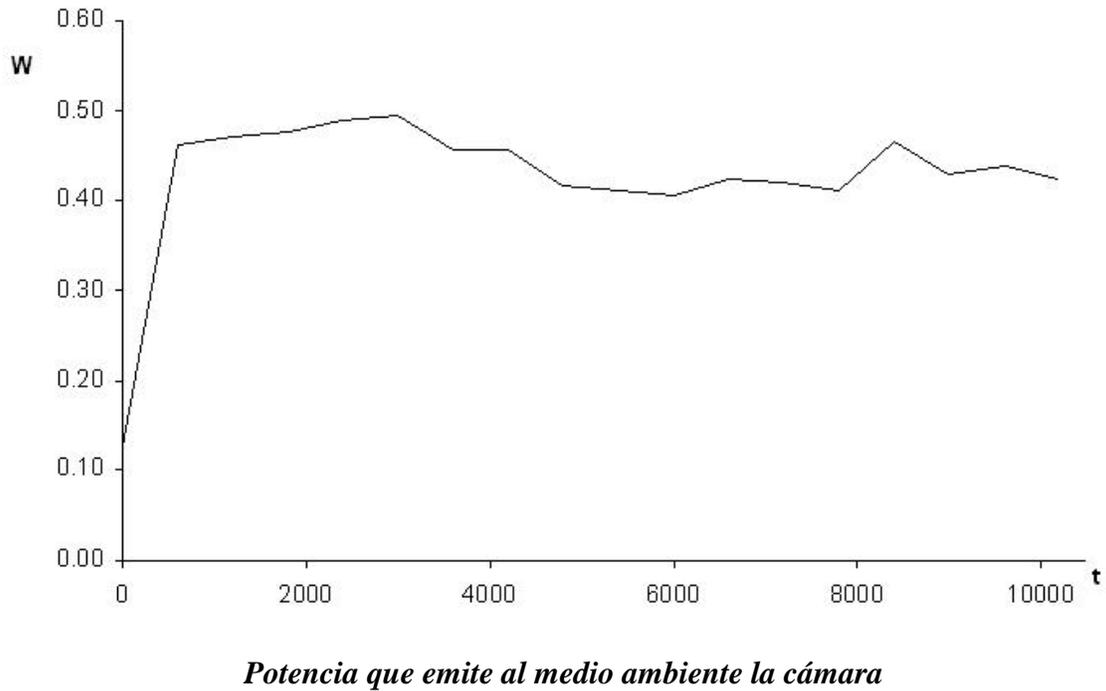
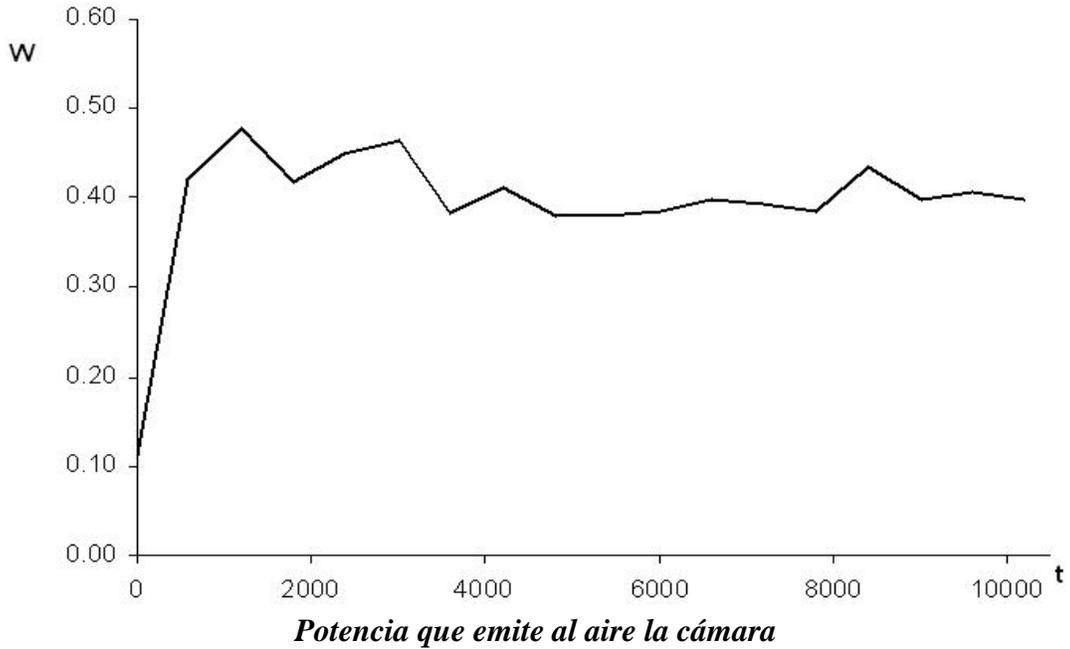
Potencia que refleja el concentrador a la cámara

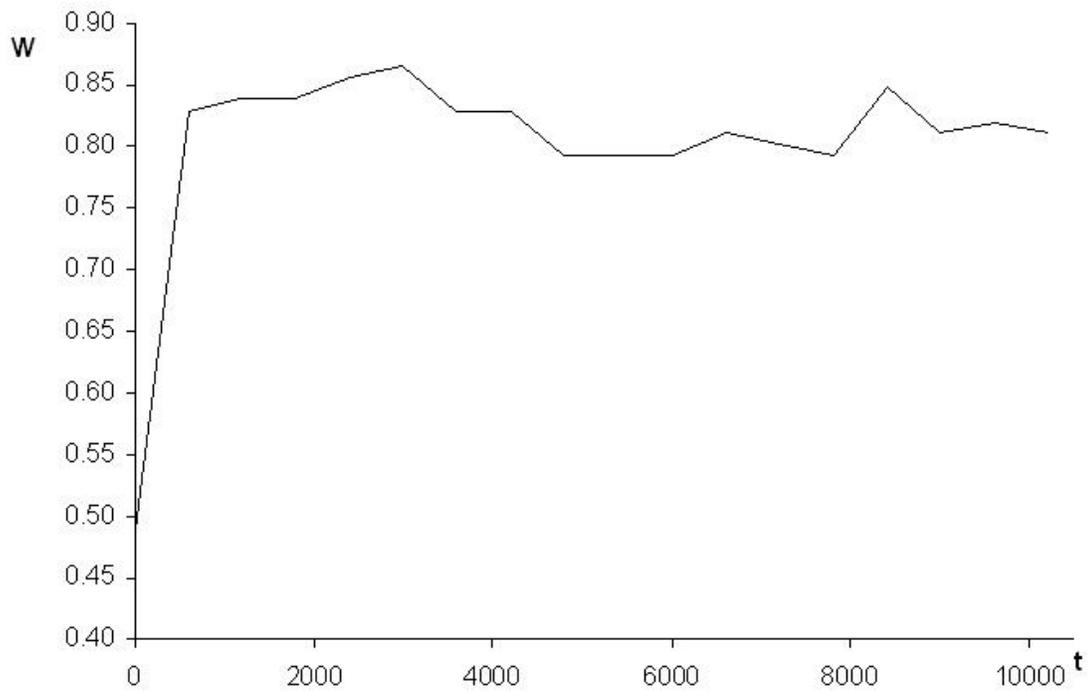


Eficiencia del concentrador

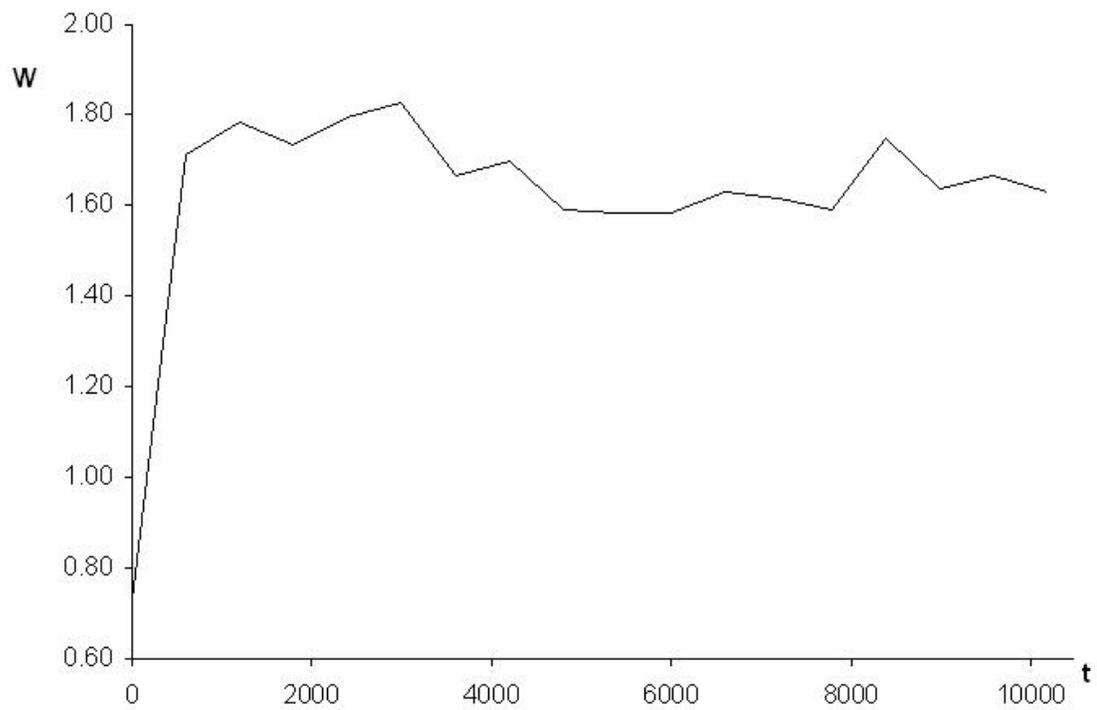
9.3. Curvas de la evaluación energética de la cámara focal

Las curvas de las potencias obtenidas en la cámara del experimento EXP XIX se muestran en las páginas (79 a 83).

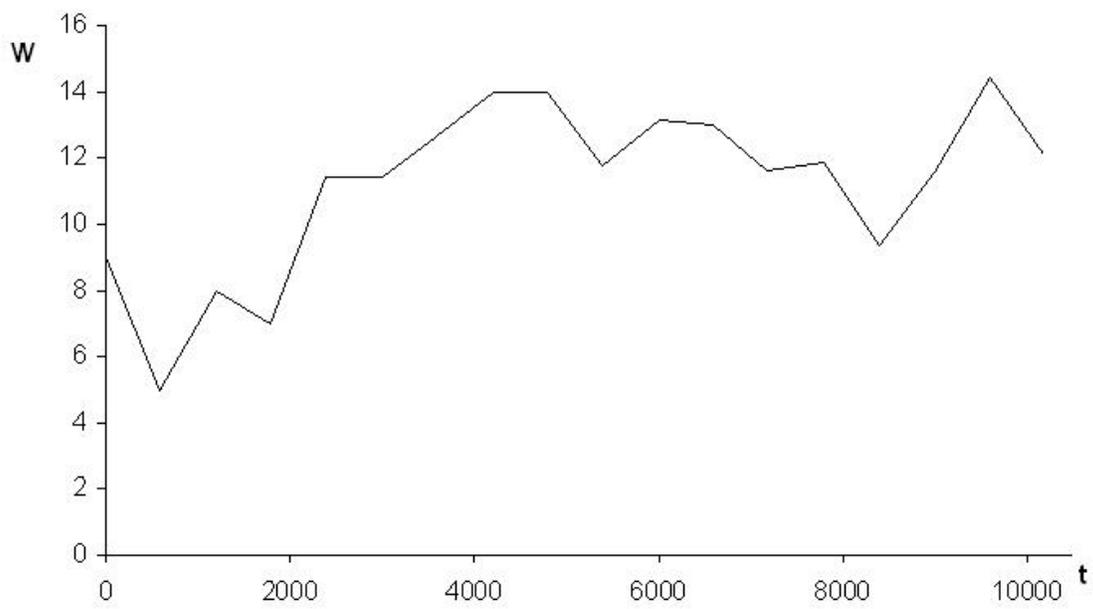




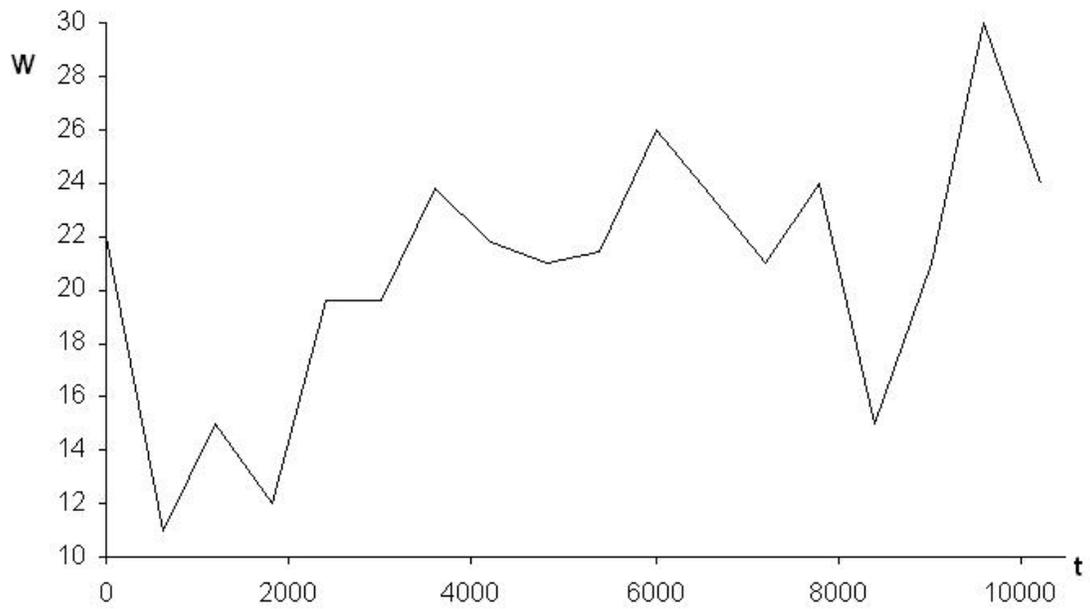
*Potencia de radiación con la Ec. Stefan-Boltzmann
afectada por la relfjancia de la cámara*



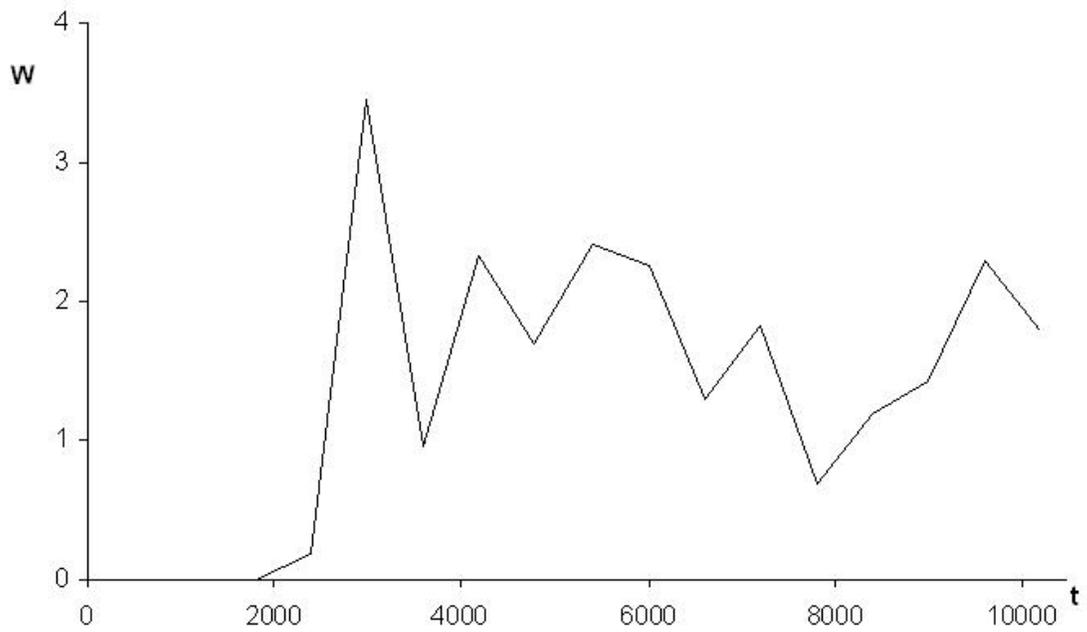
Potencia total que emite la cámara



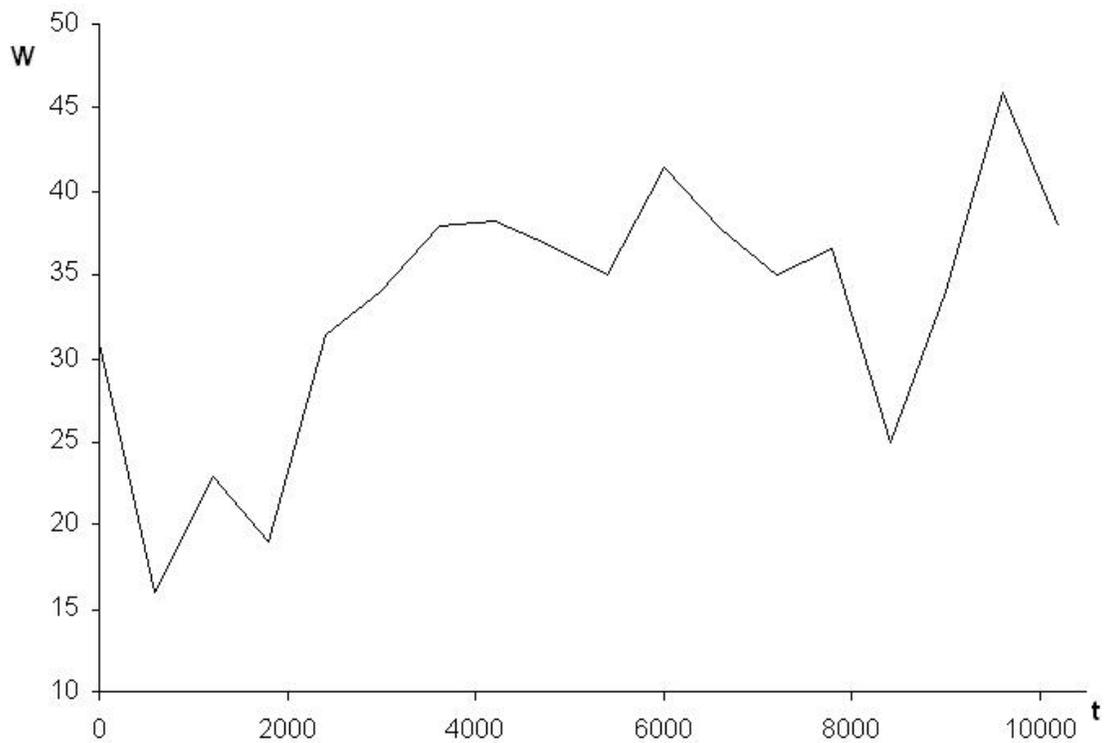
Potencia que absorbe el material de la cámara



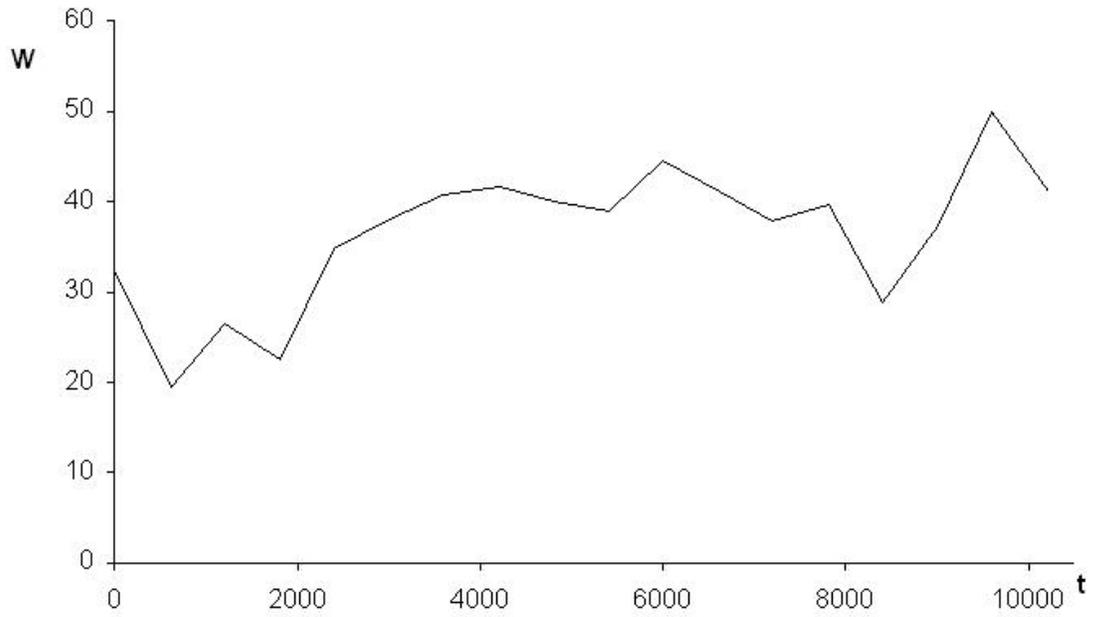
Potencia que absorbe el agua en la cámara



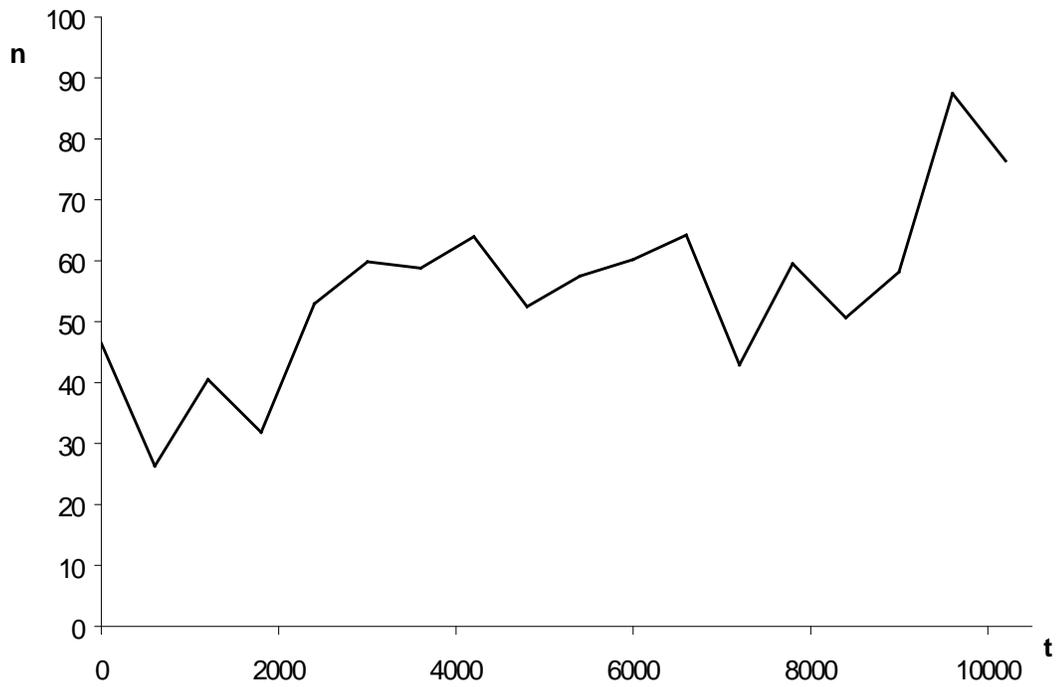
Potencia que absorbe el volumen procesado por la cámara



Potencia que total que absorbe la cámara



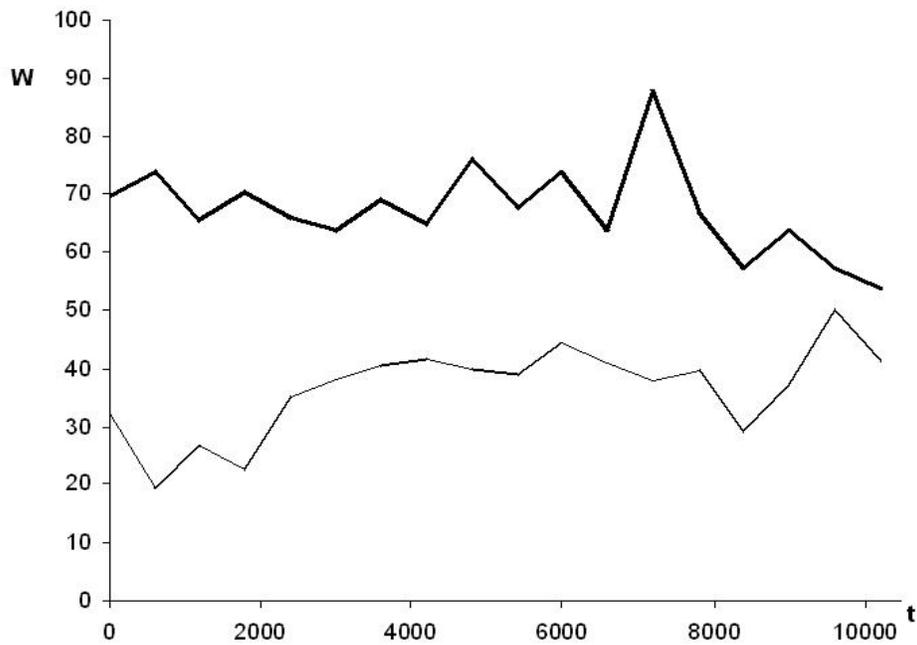
Potencia total que consume la cámara



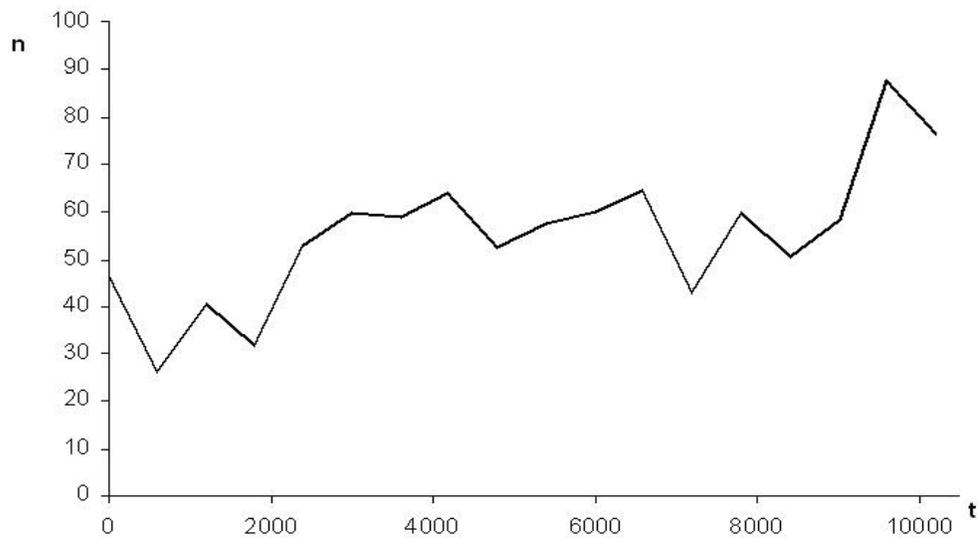
Eficiencia de la cámara

9.4. Curvas del destilador

La imagen (a) muestra las curvas que representan las potencias tanto del concentrador, como de la cámara; en la parte superior el trazo más grueso es la potencia total emitida por el concentrador; en la parte inferior se aprecia un trazo más tenue representando la potencia que consume la cámara. La imagen (b) muestra la curva de la eficiencia del destilador.



a) Potencias del concentrador y la cámara



b) Curva de la eficiencia del destilador

9.5. TABLAS EXPERIMENTOS (V, VI, VII, VIII)

Tabla EXP V

TIEMPO	TEMPERATURA °C								RADIACIÓN SOLAR	POTENCIA INCIDENTE	VOLUMEN ACUMULADO
	CÁMARA				SUPERFICIE CONCENTRADOR	AIRE	MEDIO AMBIENTE				
	INTERIOR		EXTERIOR								
S	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	W/m ²	W	m ³
0	25	28	29	26	26	25	27	21	781.85	168.0978	0
900	26	30	33	28	26	34	31	22	801.94	172.4171	0
1800	27	31	25	33	34	40	36	23	807.46	173.6039	0
2700	29	39	90	63	90	40	38	23	815.15	175.2573	0.001
3600	30	48	90	82	102	39	36	23	790.12	169.8758	0.0033
4500	30	48	86	76	90	39	35	23	788.55	169.5383	0.0057
5400	30	47	95	79	95	40	35	23	776.92	167.0378	0.006
6300	30	47	92	80	95	45	39	23	749.34	161.1081	0.006
7200	30	47	95	88	103	38	37	24	732.78	157.5477	0.006
8100	30	47	99	86	107	45	39	24	717.22	154.2023	0.004
9000	30	49	99	90	93	44	38	23	689.63	148.2705	0.003
9900	31	47	98	85	99	44	37	24	653.57	140.5176	0.0024
										TOTAL	0.0374

Tablas EXP VI

TIEMPO	TEMPERATURA °C								RADIACIÓN SOLAR	POTENCIA INCIDENTE	VOLUMEN ACUMULADO
	CÁMARA				SUPERFICIE CONCENTRADOR	AIRE	MEDIO AMBIENTE				
	INTERIOR		EXTERIOR								
S	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T9	T10	W/m ²	W	m ³
0	22	23	23	25	21	21	20	19	679.19	146.03	0
900	23	25	26	29	64	29	20	20	707.17	152.04	0.00187
1800	24	26	27	33	77	26	21	21	723.92	155.64	0.00172
2700	25	28	27	33	80	29	21	21	747.56	160.73	0.00168
3600	25	32	27	31	105	31	22	21	702.44	151.02	0.00181
4500	25	32	28	29	91	33	22	22	773.57	166.32	0.00186
5400	26	34	29	31	101	34	23	22	784.8	168.73	0.00188
6300	26	35	29	30	87	35	23	23	749.35	161.11	0.00179
7200	27	37	30	31	102	35	24	24	786.18	169.03	0.00188
8100	27	37	31	33	100	37	26	23	777.91	167.25	0.00189
9000	28	42	30	31	106	38	26	25	777.51	167.16	0.0019
9900	28	43	31	31	90	33	26	24	761.16	163.65	0.00184
										TOTAL	0.02011

Tablas EXP VII

TIEMPO	TEMPERATURA °C										RADIACIÓN SOLAR	POTENCIA INCIDENTE	VELOCIDAD VIENTO	VOLUMEN ACUMULADO
	CÁMARA						SUPERFICIE		MEDIO					
	INTERIOR			EXTERIOR			CONCENTRADOR	AIRE	AMBIENTE					
s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	W/m2	W	m/s	m ³
0	27	29	29	30	31	31	31	29	30	24	787.38	169.29	1.21	0
900	27	30	31	31	34	35	53	34	31	23	752.49	161.79	2.22	0.00162
1800	28	31	33	35	37	38	76	32	31	24	769.83	165.51	1.43	0.00172
2700	28	31	33	34	35	36	61	37	37	24	788.94	169.62	1.7	0.00181
3600	29	32	34	35	35	37	58	32	34	24	778.5	167.38	1.99	0.00172
4500	29	32	33	35	35	36	68	37	37	24	794.06	170.72	1.6	0.0014
5400	29	32	33	35	36	37	60	35	38	25	777.12	167.08	1.48	0.001945
6300	30	33	34	34	35	36	63	37	37	25	766.87	164.88	1.6	0.0026
7200	30	32	33	35	35	35	69	41	36	25	740.67	159.24	1.82	0.002
8100	30	33	34	36	36	36	72	40	38	25	744.02	159.96	2.09	0.002
9000	30	33	34	36	36	36	76	42	37	25	709.53	152.55	2.33	0.002035
9900	31	34	35	37	37	38	76	44	38	26	693.77	149.16	1.56	0.00195
10800	31	34	35	35	36	37	70	41	36	26	659.49	141.79	1.73	0.00107
11700	31	34	34	34	34	35	73	42	39	26	652.19	140.22	2.08	0.0033
12600	31	34	35	35	35	35	71	42	39	27	612	131.58	1.9	0.002575
13500	32	35	35	35	35	35	78	39	39	27	581.65	125.05	1.96	0.003005
14400	32	34	34	34	35	35	74	38	35	28	547.17	117.64	1.03	0.00293
												TOTAL	0.03368	

(a)

TIEMPO	TEMPERATURA °C										RADIACIÓN SOLAR	POTENCIA INCIDENTE	VELOCIDAD VIENTO	VOLUMEN ACUMULADO
	CÁMARA						SUPERFICIE		MEDIO					
	INTERIOR			EXTERIOR			CONCENTRADOR	AIRE	AMBIENTE					
s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	W/m2	W	m/s	m ³
0	27	27	27	27	28	28	28	29	28	24	727.27	156.36	1.42	0
900	28	30	31	31	34	35	60	38	40	24	757.41	162.84	2.13	0.00207
1800	29	31	32	32	35	36	60	39	41	24	752.88	161.87	2.23	0.00224
2700	30	32	33	34	35	36	60	39	39	24	779.48	167.59	1.49	0.002035
3600	30	32	33	34	35	35	59	41	43	24	771.21	165.81	1.83	0.00221
4500	30	32	33	34	34	35	62	39	39	25	765.89	164.67	1.92	0.002215
5400	30	32	33	34	34	35	65	42	38	25	765.69	164.62	2.23	0.00222
6300	30	34	35	36	36	37	69	41	35	26	762.93	164.03	2.14	0.002025
7200	31	33	34	35	35	36	72	42	38	25	755.25	162.38	2.18	0.002225
8100	31	34	34	35	36	37	67	43	39	26	731.6	157.29	1.99	0.002035
9000	31	34	35	36	37	37	61	43	38	26	732.78	157.55	2.07	0.002125
9900	31	34	35	36	36	36	60	41	35	26	724.51	155.77	2.09	0.001965
10800	31	34	35	36	36	37	64	44	40	26	697.71	150.01	2.39	0.002
11700	32	34	35	36	36	36	72	42	37	27	671.31	144.33	2.07	0.0018
12600	32	35	35	36	37	37	87	39	38	28	662.05	142.34	1.36	0.001915
13500	32	35	36	38	38	38	85	42	39	27	676.63	145.48	1.6	0.00181
14400	32	35	35	36	36	37	90	40	40	27	599.39	128.87	2.23	0.001865
												TOTAL	0.032755	

(b)

Tablas EXP VII

TIEMPO	TEMPERATURA °C										RADIACIÓN SOLAR	POTENCIA INCIDENTE	VELOCIDAD VIENTO	VOLUMEN ACUMULADO
	CÁMARA						SUPERFICIE		MEDIO					
	INTERIOR			EXTERIOR			CONCENTRADOR	AIRE	AMBIENTE					
S	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	W/m2	W	m/s	m³
0	32	34	40	42	42	44	72	46	39	27	524.51	112.77	1.9	0
900	33	34	35	35	35	36	72	42	37	26.5	430.13	92.48	2.56	0.00315
1800	33	34	35	35	35	35	72	45	37	26.9	461.66	99.26	4	0.003315
2700	33	35	35	38	39	39	91	44	39	26.7	404.32	86.93	3.53	0.003555
3600	35	35	35	37	38	38	94	40	35	26.6	373.38	80.28	3.89	0.0024
4500	33	35	35	38	38	38	82	38	34	26.8	331.02	71.17	3.55	0.0028
5400	33	34	35	36	38	38	72	36	33	26.6	285.5	61.38	3.47	0.0028
6300	33	34	35	36	37	38	75	38	33	26.4	238.61	51.3	3.46	0.00215
7200	32	33	35	36	37	37	74	37	34	26.1	196.05	42.15	4.06	0.0022
8100	31	31	32	32	33	34	30	25	26	25.5	114.87	24.69	4.45	0.00207
9000	30	29	30	28	31	32	30	24	24	25.1	37.73	8.11	4.13	0.00202
9900	29	29	30	29	31	31	39	28	26	24.2	29.35	6.31	4.33	0.00195
10800	28	29	30	29	31	31	42	28	27	24.3	22.06	4.74	4.3	0.00175
11700	26	26	26	24	30	30	24	23	27	23.5	1.57	0.34	3.36	0.0019
12600	26	26	26	23	29	30	24	22	23	23.2	0	0	2.91	0.0016
13500	25	24	25	22	27	27	24	22	22	22.7	0	0	2.78	0.00167
14400	23	24	25	21	25	26	23	22	21	22.4	1.37	0.29	1.87	0.0015
													TOTAL	0.03683

(C)

TIEMPO	TEMPERATURA °C										RADIACIÓN SOLAR	POTENCIA INCIDENTE	VELOCIDAD VIENTO	VOLUMEN ACUMULADO
	CÁMARA						SUPERFICIE		MEDIO					
	INTERIOR			EXTERIOR			CONCENTRADOR	AIRE	AMBIENTE					
s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	W/m2	W	m/s	m³
0	25	27	30	30	30	30	43	30	30	22.6	784.8	168.732	1.88	0
900	26	27	27	29	30	30	46	33	32	23.3	783.42	168.4353	1.44	0.004815
1800	26	27	28	31	30	31	50	37	34	24	545.99	117.38785	1.97	0.00477
2700	27	28	28	32	33	33	41	28	28	23.9	798.99	171.78285	2.56	0.0044
3600	27	28	29	33	33	33	57	37	34	24.5	787.36	169.2824	2.53	0.004265
4500	28	29	30	35	35	35	47	31	30	24.8	780.86	167.8849	2.11	0.004
5400	29	30	31	35	35	35	58	39	38	25	769.43	165.42745	2.84	0.00385
6300	30	31	31	37	37	37	50	32	34	24.9	748.74	160.9791	3	0.00365
7200	30	31	32	35	35	35	54	34	36	25.3	750.91	161.44565	3.56	0.0035
8100	30	31	32	37	37	37	63	36	36	24.9	725.89	156.06635	3.73	0.00335
9000	31	32	32	35	35	35	60	30	30	25.2	723.92	155.6428	4.23	0.00325
9900	31	32	33	35	35	36	66	36	35	25.8	796.43	171.23245	3.36	0.00306
10800	31	32	32	35	37	38	35	28	27	25	299.3	64.3495	3.22	0.00275
11700	31	32	34	37	39	39	70	33	35	25.9	689.83	148.31345	3.86	0.0022
12600	30	31	31	31	35	36	35	29	28	25.7	356.44	76.6346	4.14	0.00192
13500	30	32	33	35	39	40	54	34	33	25.5	711.9	153.0585	3.63	0.001675
14400	30	30	30	31	35	35	63	32	29	26.5	604.71	130.01265	3.5	0.00145
													TOTAL	0.052905

(d)

Tablas EXP VIII

TIEMPO	TEMPERATURA °C								RADIACIÓN SOLAR	POTENCIA INCIDENTE	VELOCIDAD VIENTO	VOLUMEN ACUMULADO
	CÁMARA				SUPERFICIE		MEDIO					
	INTERIOR		EXTERIOR		CONCENTRADOR	AIRE	AMBIENTE					
s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	W/m ²	W	m/s	m ³
0	22	23	21	21	21	21	21	18	710.32	152.72	2.36	0
900	23	23	23	25	22	22	22	19	748.55	160.94	1.99	0
1800	25	26	31	29	25	25	26	19	762.54	163.95	2	0
2700	25	26	35	26	101	28	24	19	793.27	170.55	2.55	0
3600	25	30	54	32	109	32	30	20	792.68	170.43	2.13	0
4500	26	34	68	37	126	32	32	20	172.8	37.15	1.92	0
5400	26	42	97	72	112	32	32	21	844.31	181.53	2.14	-
6300	26	56	90	53	122	33	31	21	795.44	171.02	1.46	-
7200	26	46	83	47	123	32	32	21	792.68	170.43	2.51	-
8100	26	55	86	55	123	35	34	21	528.65	113.66	1.65	-
9000	27	62	90	56	135	37	35	21	768.84	165.3	2.11	-
9900	27	57	88	52	133	37	34	21	336.14	72.27	1.32	-
10800	28	57	90	53	136	37	34	22	287.28	61.77	2.04	-
11700	29	70	76	47	128	35	39	22	713.08	153.31	2.01	-
12600	29	60	84	56	130	40	37	22	602.74	129.59	2.04	-
13500	30	59	90	57	131	40	37	23	688.65	148.06	2.02	-
14400	31	50	88	54	131	37	40	23	642.54	138.15	2.64	-
15300	31	50	84	44	127	40	38	22	670.52	144.16	2.67	-
16200	31	67	90	66	134	38	35	23	365.11	78.5	3.35	-
17100	32	60	88	58	125	35	37	21	76.84	16.52	4.22	-
18000	32	58	85	56	108	37	39	20	54.18	11.65	4.91	-
TOTAL											0.001275	

9.6.Tablas de los experimentos de la simulación del calentamiento solar aprovechando la combustión de gas LP en la cámara focal

Tabla EXP XI

TIEMPO	TEMPERATURA °C			PRESIÓN
s	T1	T2	T3	KG/cm ²
0	15	15	10	0
30	15	15	22	0
60	15	15	27	0
90	15	15	35	0
120	15	15	42	0
150	15	15	50	0
180	15	15	57	0
210	15	16	63	0
240	15	16	69	0
270	15	17	75	0
300	15	21	82	0
330	15	23	89	0.1750
360	15	37	91	0.1750
390	15	46	91	0.1750
420	15	58	92	0.1875
450	16	67	92	0.2000
480	16	94	92	0.2000
510	15	93	91	0.1750
540	15	93	91	0.2000
570	15	92	91	0.2000
600	16	93	92	0.2000
630	16	94	92	0.2000
660	16	94	92	0.2000
690	16	94	92	0.2000
720	16	94	92	0.2250
750	16	94	92	0.2250
780	16	94	92	0.2375
810	16	95	93	0.2375
840	16	94	92	0.2000
870	16	93	91	0.2250
900	16	94	92	0.2250

(a)

TIEMPO	TEMPERATURA °C			PRESIÓN
s	T1	T2	T3	KG/cm ²
0	16	02	01	0.2250
960	16	93	91	0.2500
990	16	94	92	0.2625
1020	16	95	93	0.2750
1050	16	94	93	0.2500
1080	16	92	91	0.2000
1110	16	92	91	0.2000
1140	16	92	91	0.2000
1170	16	91	90	0.2000
1200	16	92	91	0.2000
1230	16	92	91	0.2000
1260	16	92	91	0.2250
1290	16	92	91	0.2250
1320	16	91	91	0.2250
1350	16	91	91	0.2250
1380	16	92	91	0.2250
1410	16	93	92	0.2375
1440	16	93	92	0.2375
1470	16	94	92	0.2375
1500	16	94	92	0.2500
1530	16	93	91	0.2375
1560	16	94	92	0.2500
1590	16	94	92	0.2500
1620	16	94	92	0.2500
1650	16	94	92	0.2500
1680	16	93	92	0.2500
1710	16	93	92	0.2500
1740	16	92	91	0.2375
1770	16	92	91	0.2000
1800	16	96	90	0.2000

(b)

Tabla EXP XII

TIEMPO	TEMPERATURA °C			PRESION
s	T1	T2	T3	KG/cm ²
0	14	12	10	0
30	14	21	29	0
60	14	23	35	0
90	14	43	41	0
120	14	41	45	0
150	14	40	49	0
180	14	54	54	0
210	14	55	60	0
240	14	57	64	0
270	14	80	67	0
300	14	87	73	0.175
330	14	91	78	0.175
360	14	57	87	0
390	14	58	89	0
420	14	42	90	0
450	14	68	92	0
480	14	29	91	0
510	14	43	91	0
540	14	41	91	0
570	14	40	90	0
600	14	54	90	0
630	14	55	89	0
660	14	57	88	0
690	14	80	52	0
720	14	88	86	0.175

(a)

TIEMPO	TEMPERATURA °C			PRESION
s	T1	T2	T3	KG/cm ²
750	16	88	80	0.175
780	16	88	85	0.175
810	16	87	82	0.175
840	16	20	90	0
870	16	24	90	0
900	16	86	90	0.175
930	16	89	90	0.175
960	16	20	67	0
990	16	20	44	0
1020	16	87	56	0.175
1050	16	88	65	0.175
1080	16	22	84	0
1110	16	38	94	0
1140	16	88	94	0.175
1170	17	91	96	0.175
1200	18	92	96	0.200
1230	18	89	90	0.250
1260	18	91	90	0.250
1290	18	95	96	0.200
1320	18	95	96	0.200
1350	18	89	89	0.175
1380	18	56	78	0
1410	18	48	67	0
1440	18	42	55	0
1470	18	29	49	0

(b)

Tabla EXP XIII

TIEMPO	TEMPERATURA °C			PRESIÓN
s	T1	T2	T3	KG/cm2
0	13	22	20	0
30	13	22	21	0
60	13	22	22	0
90	13	22	24	0
120	13	22	26	0
150	13	22	27	0
180	13	23	29	0
210	13	23	31	0
240	13	24	32	0
270	13	25	33	0
300	13	26	34	0
330	13	28	36	0
360	14	30	37	0
390	14	37	39	0
420	14	42	41	0
450	14	51	42	0
480	14	52	43	0
510	14	52	46	0
540	14	52	48	0
570	14	52	51	0
600	14	52	53	0
630	14	51	55	0
660	14	51	57	0
690	14	64	59	0
720	14	86	62	0
750	14	77	65	0
780	14	85	69	0
810	14	79	73	0
840	14	68	74	0
870	14	74	78	0
900	14	75	83	0.300
930	14	74	85	0.300
960	14	73	87	0.300
990	15	75	88	0.300
1020	15	74	91	0.300
1050	15	80	92	0.300
1080	15	85	92	0.300
1110	15	84	93	0.300
1140	15	88	91	0.300
1170	15	92	92	0
1200	14	45	92	0
1230	14	33	90	0
1260	14	29	90	0
1290	14	27	90	0
1320	13	26	91	0
1350	13	25	91	0
1380	13	24	91	0
1410	13	23	91	0
1440	13	23	91	0
1470	13	23	91	0
1500	13	22	91	0

(a)

TIEMPO	TEMPERATURA °C			PRESIÓN
s	T1	T2	T3	KG/cm2
1530	13	43	91	0
1560	13	81	91	0.200
1590	13	90	91	0.200
1620	13	90	92	0.200
1650	13	88	93	0.200
1680	13	90	92	0.200
1710	13	92	92	0.200
1740	13	92	92	0.200
1770	13	92	92	0.200
1800	13	92	92	0.200
1830	13	92	92	0.200
1860	13	92	92	0.200
1890	13	92	92	0.175
1920	13	78	92	0.175
1950	13	84	92	0.175
1980	13	86	92	0.200
2010	13	87	92	0.200
2040	13	88	92	0.200
2070	13	88	92	0.200
2100	13	88	92	0.200
2130	13	88	92	0.175
2160	13	88	92	0.175
2190	13	88	92	0.175
2220	13	88	92	0.175
2250	13	88	92	0.175
2280	13	88	92	0.175
2310	13	88	92	0.175
2340	13	88	92	0.175
2370	13	88	92	0.175
2400	13	88	92	0.175
2430	13	88	91	0.200
2460	13	88	91	0.200
2490	13	88	91	0.200
2520	13	88	92	0.200
2550	13	88	91	0
2580	13	58	91	0
2610	13	30	92	0
2640	13	25	86	0
2670	13	25	87	0
2700	13	27	86	0
2730	13	49	88	0
2760	13	61	90	0
2790	13	79	91	0.200
2820	13	90	91	0.200
2850	13	91	91	0.200
2880	13	91	91	0.200
2910	13	90	92	0.200
2940	13	92	92	0.200
2970	13	92	92	0.200
3000	13	92	92	0.200
3030	13	92	92	0.200

(b)

Tabla EXP XIII

TIEMPO S	TEMPERATURA °C			PRESIÓN KG/cm2
	T1	T2	T3	
3060	13	92	92	0.200
3090	13	92	92	0.200
3120	13	92	92	0.200
3150	13	92	92	0.200
3180	13	92	91	0.200
3210	13	92	91	0.200
3240	13	92	91	0.200
3270	13	92	91	0.200
3300	13	92	91	0.200
3330	13	93	91	0.200
3360	13	93	91	0.200
3390	13	93	91	0.200
3420	13	92	91	0.200
3450	13	92	91	0.200
3480	13	92	91	0.200
3510	13	92	91	0.200
3540	13	92	91	0.200
3570	13	92	91	0.200
3600	13	93	91	0.200
3630	13	92	91	0.175
3660	13	92	91	0.175
3690	13	92	91	0.175
3720	13	92	91	0.175
3750	13	91	91	0.175
3780	13	88	91	0.175
3810	13	87	91	0.175
3840	13	87	91	0.200
3870	13	91	91	0.200
3900	13	92	91	0.200
3930	13	92	91	0.200
3960	13	92	91	0.200
3990	13	92	91	0.200
4020	13	91	91	0.200
4050	13	88	91	0.200
4080	13	85	91	0.200
4110	13	83	91	0.200
4140	13	82	91	0.200
4170	13	82	91	0.200
4200	13	82	91	0.200
4230	13	82	91	0.200
4260	13	82	91	0.200
4290	13	82	91	0.200
4320	13	82	91	0.200
4350	13	82	91	0.200
4380	13	82	91	0.200
4410	13	81	91	0.200
4440	13	82	91	0.200
4470	13	82	91	0.200
4500	13	82	91	0.200

(c)

TIEMPO s	TEMPERATURA °C			PRESIÓN KG/cm2
	T1	T2	T3	
4530	13	82	91	0.200
4560	13	82	91	0.200
4590	13	85	91	0.175
4620	13	87	91	0.175
4650	13	88	91	0.175
4680	13	88	91	0.175
4710	13	88	91	0.175
4740	13	88	91	0.175
4770	13	89	91	0.175
4800	13	87	90	0.175
4830	14	88	95	0.175
4860	14	90	91	0.175
4890	14	86	91	0.200
4920	14	87	91	0.200
4950	14	88	90	0.200
4980	14	88	89	0.200
5010	14	70	90	0
5040	14	32	90	0
5070	14	40	92	0
5100	14	45	91	0
5130	14	60	91	0
5160	14	89	92	0.300
5190	14	90	92	0.300
5220	14	87	92	0.300
5250	14	86	91	0.300
5280	14	91	91	0.300
5310	14	91	92	0.300
5340	14	91	92	0.300
5370	14	92	91	0.300
5400	14	91	91	0.300
5430	14	92	91	0.300
5460	14	92	91	0.300
5490	14	91	91	0.300
5520	14	92	91	0.300
5550	14	91	91	0.300
5580	14	92	92	0.300
5610	14	91	91	0.300
5640	14	92	92	0.300
5670	14	92	91	0.300
5700	14	92	91	0.300
5730	14	92	91	0.250
5760	14	92	92	0.250
5790	14	92	91	0.300
5820	14	92	91	0.300
5850	14	92	91	0.300
5880	14	92	92	0.300
5910	14	92	91	0.300
5940	14	92	92	0.300
5970	14	92	91	0.300

(d)

Tabla EXP XIV

TIEMPO s	TEMPERATURA °C			VOLUMEN ml	OBSERVACIONES
	T1	T2	T3		
0	14	16	21	0	
60	14	16	32	0	
120	14	16	39	0	
180	14	17	55	0	
240	14	18	68	0	
300	14	18	79	0	
330	14	19	82	+	(°)
360	14	19	89	+	
420	14	20	93	+	(°°)
480	14	22	94	+	
510	14	24	94	+	
540	14	25	94	+	
600	14	40	94	8.2	(*) (+)
660	14	35	94	+	(*) (+)
780	14	46	94	26	(*) (+)
900	14	51	94	+	(*) (+)
960	14	30	94	22.5	(*) (+)
1140	15	50	94	26	(*) (+)
1200	15	37	92	+	(*) (+)
1260	15	20	93	+	(*) (+)
1320	15	21	93	2	(*) (+)
1500	15	45	93	6.5	(*) (+)
1560	15	35	93	+	(**)
1680	15	39	93	22	(+)
1800	15	45	93	+	(*)
1860	15	29	93	15	(**) (+)
TOTAL				128.2	(+)

Tabla EXP XV

TIEMPO s	TEMPERATURA °C			VOLUMEN ml	OBSERVACIONES
	T1	T2	T3		
0	16	29	93	0	
180	16	45	93	17.5	(+)
300	16	50	93	+	(*)
360	16	27	92	27	(**)
540	16	40	93	6	(+)
600	17	35	92	+	(*)
660	17	23	93	+	(**)
720	17	27	93	8	(+)
900	17	52	93	30	(*) (+)
960	17	32	93	+	(**)
1080	17	46	93	23	(+)
1200	17	51	93	+	(*)
1260	17	39	92	25	(**)(+)
1440	18	54	92	32.5	(+)
1500	18	56	92	+	(*)
1560	18	33	92	+	(**)
1620	18	44	92	26	(+)
1800	18	55	92	28	(+)
Total				223	(+)
(*) Arranque de la bomba					
(**) Paro de la bomba					
(+) Medición de volumen					
(°) Inicia condensación tubo salida					
(°°) Inicia goteo al recipiente					

**9.7. Tablas del destilador Utilizando energía solar
(experimentos XVI, XVII y XVIII)**

Tabla EXP XVI

TIEMPO	TEMPERATURA °C							RADIACIÓN SOLAR	POTENCIA INCIDENTE	VELOCIDAD VIENTO	VOLUMEN ACUM.
	CÁMARA				SUPERFICIE	MEDIO					
	INTERIOR	EXT.	CONCENTRADOR	AIRE	AMBIENTE						
s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	W/m2	W	m/s	m ³
0	23	29	40	75	29	26	23	921	198	1.53	0.00
600	23	31	46	87	31	32	23	935	201	1.40	0.00
1200	24	33	50	111	35	33	20	935	201	1.79	0.00
1800	25	34	56	108	30	29	22	949	204	1.76	0.00
2400	25	36	60	122	38	36	24	935	201	1.70	0.00
3000	26	36	64	111	32	30	24	944	203	1.79	0.00
3600	26	38	75	116	35	33	24	921	198	1.63	0.00
4200	27	38	72	113	42	39	24	953	205	1.42	0.00
4800	27	39	75	128	43	44	24	944	203	1.70	0.00
5400	28	39	70	114	34	44	25	935	201	1.81	0.00
6000	29	38	60	110	34	34	25	935	201	1.61	0.00
TOTAL											0.00

Tabla EXP XVII

TIEMPO	TEMPERATURA °C							RADIACIÓN SOLAR	POTENCIA INCIDENTE	VELOCIDAD VIENTO	VOLUMEN ACUM.
	CÁMARA				SUPERFICIE	MEDIO					
	INTERIOR	EXT.	CONCENTRADOR	AIRE	AMBIENTE						
s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	W/m2	W	m/s	m ³
0	24	32	59	86	26	27	22	920.93	198	1.43	0.00
600	24	33	63	100	30	34	22	916.28	197	1.36	0.00
1200	25	35	71	100	32	33	22	911.63	196	1.56	0.00
1800	26	36	74	93	31	28	23	920.93	198	1.62	0.00
2400	27	36	70	92	31	35	23	920.93	198	1.64	0.00
3000	28	36	72	83	35	39	20	925.58	199	1.37	0.00
3600	28	37	77	77	30	38	22	925.58	199	1.42	0.00
4200	28	38	72	86	37	42	24	897.67	193	1.40	0.00
4800	30	39	74	78	35	40	24	916.28	197	1.60	0.00
5400	30	39	72	81	31	39	24	916.28	197	1.70	0.00
6000	31	41	76	117	37	42	24	934.88	201	1.64	0.00
6600	31	41	78	117	33	39	24	916.28	197	2.21	0.00
7200	31	41	78	117	36	41	25	934.88	201	2.05	0.00
7800	31	42	79	117	38	36	25	916.28	197	2.06	0.00
8400	31	42	81	114	35	30	25	916.28	197	2.16	0.00
9000	32	44	83	115	40	31	24	906.98	195	1.87	Inicia goteo
9600	33	47	85	112	34	29	24	916.28	197	2.12	0.0000025
10200	33	49	87	116	34	29	24	920.93	198	1.69	0.0000040
10800	33	50	84	112	36	28	25	930.23	200	1.76	0.0000050
11400	33	49	74	110	33	26	25	939.53	202	1.34	0.0000060
12000	33	48	60	128	37	27	24	916.28	197	1.56	0.0000065
12600	34	50	67	130	34	33	24	897.67	193	1.39	0.0000075
13200	34	69	69	122	35	33	24	925.58	199	1.68	0.0000085
13800	34	55	78	110	39	41	24	934.88	201	1.79	0.0000105
14400	34	51	72	109	35	31	24	916.28	197	1.67	0.0000120
TOTAL											0.0000120

Tabla EXP XVIII

TIEMPO	TEMPERATURA °C								RADIACIÓN SOLAR	POTENCIA INCIDENTE	VELOCIDAD VIENTO	VOLUMEN ACUMULADO
	CÁMARA				SUPERFICIE		MEDIO					
	INTERIOR				EXT.	CONCENTRADOR	AIRE	AMBIENTE				
s	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	W/m ²	W	m/s	m ³
0	25	28	36	24	70	34	28	19	917.76	197	1.32	0
600	24	33	52	33	83	34	34	20	911.63	196	1.26	0
1200	25	35	59	35	122	39	30	20	916.28	197	1.58	0
1800	27	38	91	35	122	39	29	20	911.63	196	1.49	0
2400	28	42	63	39	107	39	31	21	920.93	198	2.05	2 E-6
3000	28	49	87	45	93	39	30	22	911.63	196	2.13	-
3600	30	51	74	48	114	42	30	22	920.93	198	2.08	4 E-6
4200	31	57	85	47	115	40	30	22	916.28	197	1.57	-
4800	32	53	88	45	111	38	30	22	911.63	196	1.65	-
5400	32	60	88	54	112	40	30	23	920.93	198	1.49	-
6000	34	72	86	69	117	40	30	23	920.93	198	1.38	-
6600	33	75	78	63	128	40	31	22	925.58	199	1.24	-
7200	35	78	87	78	111	42	31	23	925.58	199	1.36	-
7800	36	80	86	83	102	44	31	24	897.67	193	1.28	-
TOTAL											6 E-6	

CONCLUSIONES

El montaje y desarrollo de la cámara focal de evaporación de un destilador de agua para un concentrador solar de parábola reglada nos ha permitido obtener agua destilada utilizando la energía solar.

Los diferentes modelos de cámara focal fueron probadas experimentalmente. Primero el calentamiento fue producido utilizando gas butano, y después de varios intentos, empezamos a trabajar directamente con el calentamiento solar. Más de una vez, a lo largo de todos estos modelos, fue necesario regresar al calentamiento mediante gas.

Cuando finalmente empezamos a recoger agua destilada, encontramos que la cantidad era pequeña respecto de nuestros objetivos iniciales. Para analizar los resultados anteriores transformamos el sistema en otro cuyo único objeto era calentar agua. A pesar de la sencillez del nuevo problema, descubrimos detalles que fuimos incorporando, hasta que el calentamiento obtenido era comparable al que nos esperábamos a partir de los datos de la estación meteorológica automática Almaraz, de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán - UNAM, ubicada a $99^{\circ} 11' 42''$ de latitud Norte y 2274 msnm, en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, correspondientes al intervalo de tiempo que duraba el experimento. Al final de este periodo de investigación pudimos obtener un calentamiento de agua de 2962 calorías cuando la energía total absorbida era 4745. Dado que los números 2962 y 4745 ya muestran que estamos obteniendo un calentamiento comparable con la energía absorbida, volvimos a reconstruir la cámara, para probarla en su nueva forma de destilador.

Nuevamente nos volvimos a encontrar con problemas importantes. De estos el más importante fue el incremento en la presión en el interior de la cámara focal, mismo que impedía la entrada de agua, deteniendo así el proceso de destilación. Primero introducimos el agua utilizando una bomba, luego descubrimos el origen del problema, y finalmente, resuelto este último establecimos el modelo final, donde todo trabaja correctamente, excepto que nuevamente la cantidad total es pequeña.

Procedimos a hacer el balance energético y encontramos que la causa es la pérdida de energía en las partes calientes, ya sea por contacto término o por radiación térmica.

Respecto de la continuación de esta investigación:

El bajo costo de las modificaciones anteriores nos motiva a seguir investigando para perfeccionar el diseño probado y, con el propósito de hacer un proyecto funcional y vanguardista, proponemos aislar completamente los elementos que contiene la cámara, colocando un encapsulado de vidrio que la proteja de los fenómenos naturales que afectan su rendimiento.

Las modificaciones y consideraciones que a continuación se mencionan, mejoran el prototipo exhibido: la alineación correcta del sistema, la aplicación de la película reflejante (mylar) en el concentrador y el correcto movimiento controlado del heliostato por medio de un pequeño motor que permita un mejor seguimiento del Sol a lo largo del día.

Proponemos el montaje de una cubierta de vidrio sobre los bordes del modelo, cubriendo el área de concentración y el total del tubo absorbedor, para obtener un solo elemento (concentrador-cámara). Estas adecuaciones permitirían disminuir los fenómenos del medio ambiente y a la vez aprovechar el efecto invernadero en el aumento de la eficiencia y por consiguiente la posibilidad de utilizar más la energía captada en la destilación.

Si queremos tener éxito es necesario rediseñar el sistema, de manera que los cambios en las temperaturas sean pequeños, minimizando así las correspondientes pérdidas por diferencia de temperatura.

El ahorro de recursos no renovables, el bajo costo en la aplicación de nuevas tecnologías y el diseño de cada uno de los elementos que componen el destilador, hacen de éste un proyecto versátil y de gran interés para su estudio; factible para trabajar en escalas superiores.

BIBLIOGRAFÍA

1. "Limitations and Possibilities for improvement of Photovoltaic Solar Energy Converters". M. WOLF. SOLAR CELLS. Edited by Charles E. Backus. IEEE. New York. 1960.
2. "Photovoltaic materials and devices for terrestrial solar energy applications." Harold J. NOVEL. SOLAR ENERGY MATERIALS 2(1980). Ed. North-Holland.
3. "Possibilities of New Materials for Solar Photovoltaic cells". Mauricio SCHOIJET. SOLAR ENERGY MATERIALS 1(1979). Ed. North-Holland.
4. "Recent Developments in Amorphous Silicon Solar Cells". D.E. CARLSON. SOLAR ENERGY MATERIALS 3 (1980).
5. "Electrónica Integrada". MILLMAN y HALKIAS. Ed. Hispano-europea. Barcelona 1980.
6. BRI Solar Hot Box cooker, Mod.C-7, Julio de 1996.
7. Buigues Nollens A. F. y Rojos E. O. (1995). Desarrollo y Construcción de Sistemas Alternativos de Cocción - 1ª Etapa Cocinas Solares. ASADES 18, T. II, (7.19-7.26).
8. Durán E., et al. (1991). Adopción de Cocinas Solares. Motivando a la Comunidad. Resúmenes de ASADES 14, 103-104.
9. Durán M. (1979) La Cocina Solar y su Difusión en la Población Rural de Ayacucho. En Atas do 2ª Congresso Latino-americano de Energia Solar, Vol. II, Universidade Federal da Paraíba, pp. 397-409, Joao Pessoa, Brasil.
10. Echazú R. y Saravia L. (1985) Experiencias con una Cocina Solar (inérito).
11. Esteves A. (1994). Concurso de Diseño de Cocinas Solares. ASADES 17, T. I, (33-38).
12. Esteves A. (1996a). Cocina Solar Abierta de Reflector Plano. ASADES 19, T. II, (7.9-7.12).
13. Esteves A. (1996b). Manual de Autoconstrucción de Cocinas y Hornos Solares. ASADES 19, T. II, (12.13-12.15).
14. European Committee for Solar Cooking Research (1994). Second International Solar Cooker Test. ECSCR, pp. 1-21, Lodève, Francia.

15. FAO (1990). How to build and use a solar box cooker, Solar Box Cookers International, Sacramento, California.
16. Guzmán M. T., et al. (1991). Cocinas Solares. Un Programa para su adopción. Resúmenes de ASADES 14, 105-106.
17. Brunet E., Fernández C. y Caso R. (1995). Cocina Solar de tipo Caja. Proyecto CIDA. INENCO.
18. Juri G., et al. (1991). Cocinas Solares en Villaseca, IV Región de Chile. ¿Una Realidad? Resúmenes de ASADES 14, 101-102.
19. Kammen D. M. (1995). Cookstoves for the Developing World. Scientific American, July, pp. 72-75.
20. Meinel A. B. y Meinel M. P. (1977). Applied Solar Energy. An Introduction, 3a. impresión, pp. 3-13. Addison-Wesley, Londres.
21. Moura Bezerra A. (1979) Desenvolvimento de um Protótipo de Fogao Solar Desmontável destinado ao esporte de "Camping". En Atas do 2ª Congresso Latino-americano de Energía Solar, Vol. II, Universidade Federal da Paraíba, pp. 371-395, Joao Pessoa, Brasil.
22. Nandwani S. S. (1993) Design, Construction and Experimental Study of a Domestic Solar Oven cum Drier in the Climate of Costa Rica. En ISES Solar World Congress, L. Imre y A. Bitai (Editores), pp. 91-96, Budapest, Hungría.
23. Nandwani S. S. (1986) Estudio Experimental y Teórico de un Horno Solar Práctico en el Clima de Costa Rica. En Memoria Técnica del V Congreso Latinoamericano de Energía Solar, A. Arata (Editor), pp. E177-189, Valparaíso, Chile.
24. Quast D. G (1976) Calculo da intensidade de esterilizao e de cozimento de alimentos, Instituto de Tecnología de Alimentos, ITAL, Campinas, Brasil.
25. Serrano P. (1986) Transferencia de Tecnologías Socialmente Apropriadas con Energía Solar. En Memoria Técnica del V Congreso Latinoamericano de Energía Solar, A. Arata (Editor), pp. G1-14, Valparaíso, Chile.
26. Serrano P. (1989) La Experiencia Chilena en Energía Solar con Tecnologías Socialmente Apropriadas. En VI Congreso Latinoamericano y III Iberoamericano de Energía Solar, H. Rodríguez (Editor), pp. G28-34, Cartagena, Colombia.

27. Sujarta H. y Fachrudin D. (1993) Solar Oven, the Alternative Solution of Fuelwood Shortage for Cooking in Remote and Barren Areas in Indonesia. En ISES Solar World Congress, L. Imre y A. Bitai (Editores), pp. 405-411, Budapest, Hungría.
28. Xiping W., Shugin H., Yongling S. y Zude L. (1994). Nueva cocina solar de caja. Segundo Congreso Mundial sobre Estufas Solares, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
29. Las Energías Renovables en Aragón, elaborado por los técnicos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y del Gobierno de Aragón, Zaragoza, 1997.
30. El Libro de las Energías Renovables, Nicolás Elortegui Escartín, colección ERA-SOLAR.
31. Manuales de las Energías Renovables, Biblioteca CINCO DIAS, elaborado por los técnicos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
32. Proyecto PyMenergy; adaptación de las Pymes a las tecnologías de ahorro y Energías Renovables.
33. Acosta Rubio, José. Energía solar: utilización y aprovechamiento. Madrid: Editorial Paraninfo, 1983. Obra de carácter divulgativo; incluye bibliografía.
34. Centro de Estudios de la Energía. El sol, un viejo conocido: introducción a la energía solar. Madrid: Centro de Estudios de la Energía, 1982. Manual breve sobre algunos aspectos de la energía solar.
35. Centro de Estudios de la Energía Solar. La energía solar: aplicaciones prácticas. Sevilla: Promotora General de Estudios, 1993. Obra sobre las distintas aplicaciones de la energía solar.
36. Dickson, D. Tecnología alternativa. Barcelona: Editorial Blume, 1980. Obra sobre el uso pasado y presente de las tecnologías alternativas.
37. "Energía Solar Diseño y Dimensiones de Instalaciones". Adolfo de Francisco y Manuel Castillo. (1985). Publicaciones del Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba.
38. "Fundamentos, Dimensionamiento y Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica". Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Ministerio de Industria y Energía. (1992). Editorial CIEMAT.

39. "La Energía: Tema Interdisciplinar para la Educación Ambiental". J.B. Deleage y C. Souchon. (1991). Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
40. "Comportamiento Energético de Edificios Solares Pasivos". Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). (1990). Editorial CIEMAT.
41. "Tecnología de las Energías: Solar, Hidráulica, Geotérmica y Combustibles Químicos". VV.AA. (1989). Publicaciones Marcombo, S. A.
42. "Hábitat y Energía". Adriano Cornoldi y Sergio Los. (1982). Editorial Gustavo Gili.
43. "La Ruta de la Energía". Josep Puig y Joaquín Corominas. (1990). Editorial Anthropos.
44. "Manual de Arquitectura Solar". VV.AA. (1990). Editorial Trillas.
45. "Energía Solar - Aplicaciones Prácticas". VV.AA. (1987). Progensa (Promotora general de estudios, S.A.).
46. "Energy Conscious Design". VV.AA. (1993). Comisión de las Comunidades Europeas.
47. "La Energía Solar". Ente Vasco de la Energía. (en prensa).
48. "Ingenios Solares". Jiménez B. J. M. España – Pamplona (2002).
49. "Energía Renovable". Jennifer Charles. Edamex.
50. "Energía Solar". Hans Rau. Bioxareu Editores.
51. "Ingeniería de la Energía Solar". Rafael Almanza S. El Colegio Nacional.