

DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBAS EXPERIMENTALES PRELIMINARES DE UNA COCINA DE VAPOR SOLAR

Rafael Espinoza Paredes
Wildor Maldonado Carbajal
Centro de Energías Renovables,
Universidad Nacional de Ingeniería

RESUMEN

El Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI) promueve y desarrolla investigaciones en el ámbito de las tecnologías de las fuentes de energías renovables y no convencionales (ER&NC).

Si bien el tema de la cocción de alimentos con energía solar y las cocinas solares correspondientes data de más de 30 años, es también cierto que en los últimos tiempos ha cobrado inusitado interés en varios países del mundo, incluido el Perú y se vienen promocionando y difundiendo modelos de cocinas solares de diversas características.

La cocina solar que motiva este trabajo la denominamos COCINA DE VAPOR SOLAR -CVS- sobre la base del fenómeno físico producido en ella que genera la cocción de los alimentos. En efecto, mediante un colector solar del tipo Concentrador Parabólico Compuesto o CPC (Compound Parabolic Concentrator), se genera vapor a presión del ambiente, que se conduce mediante tuberías hacia un recipiente de cocción que el vapor rodea completamente por la base y sus costados transfiriendo el calor que porta a los alimentos que contiene aquel.

Los resultados de las pruebas experimentales realizadas en un prototipo con un volumen de cocción aproximado de 4 lt. en el Laboratorio de Máquinas Térmicas e Hidráulicas de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNI han sido muy alentadores para continuar y demostrar la viabilidad técnica y económica de este aparato.

ABSTRACT

The Renewable Energy Center from the Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI) develops and promotes research in the field of non conventional and renewable energy resources technologies (ER&NC).

Food cooking with solar energy and solar cookers has been going on for 30 years now. And in the last years we have seen an unusual interest on the matter in many countries in the world including Perú. This is the reason why solar cooking models of many characteristics have been promoted.

The solar cooker that is part of this work is called Solar Steam Cooker (CVS) because of the physical phenomenon produced that generates cooking. In fact, by a Compound Parabolic Concentrator (solar collector), the steam generated goes to a cooking container through pipers, here, the steam surrounds it completely transferring the heat to the food that is in it.

Results on tests made in the Laboratory of Heat and Hydraulic Machines at the Mechanical Engineering School (UNI), in a prototype with a cooking quantity of 4 liters approximately, have been very encouraging to continue and demonstrate the technical and economic feasibility of this machine.

INTRODUCCION

El presente trabajo expone sobre el diseño, construcción y experimentación de un prototipo de **Cocina de Vapor Solar (CVS)** compuesta por tres partes fundamentales: colector tipo CPC con

funciones de generador de vapor, un conjunto de tuberías para el transporte de vapor y condensado y un sistema de cocción con dos cámaras de vapor y recipientes para alimentos. Complementariamente las estructuras de soporte necesarias.

El funcionamiento de la CVS se inicia con el llenado parcial del colector con agua a la temperatura del ambiente que se calentará progresivamente conforme el flujo de energía solar crece con el paso de las horas del día. Por este efecto el agua cambiará de fase a velocidad progresivamente creciente, el vapor así generado asciende por la tubería y llega a las cámaras de vapor llenándolas completamente. En estas cámaras se ubican los recipientes de cocción (ollas) con el contenido de alimentos que se deseen cocinar.

A efectos de las pruebas programadas para evaluar el comportamiento del prototipo diseñado, hemos calentado agua para conocer la cantidad de calor que se dispone en el vapor generado. El condensado retorna al colector por el mismo conducto por el que llegó el vapor generado. (fig. 7)

El uso práctico de los colectores CPC en el Perú no existe o es incipiente. En países de la región la situación no es muy diferente. Esta aparente falta de actividad motivó la decisión de desarrollar este trabajo en el plano teórico y en el plano experimental, por etapas sucesivas hasta llegar a un diseño definitivo. Para lograrlo se construyó un prototipo con el que se realizó los experimentos pertinentes que se explican más adelante.

En este contexto el modelo de CVS que se presenta es el resultado de un proceso experimental progresivo desarrollado a partir del modelo conceptual de una cocina de aceite caliente que requiere aceite térmico como fluido de trabajo.

Podemos afirmar que este trabajo y sus resultados son los primeros que se generan sistemáticamente en el Perú para este modelo de cocina solar.

En el plano internacional se conoce las experiencias del Dr. Shyam S. Nandwani [4] allí hace referencia a cocinas de este tipo con colectores planos que tienen eficiencias menores a 15%.

Las memorias de la reunión de ASADES¹ 1998 (realizado en Argentina) contienen resultados de experiencias similares.

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

- Diseñar una Cocina de Vapor Solar que use colectores CPC.
- Determinar experimentalmente su rendimiento.

- Demostrar viabilidad técnica y económica para la CVS.

FUNDAMENTOS Y CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

El comportamiento de la CVS propuesta está representado en la figura 1, que permite observar las características fundamentales de los parámetros que se involucran con el funcionamiento de las tres partes principales definidas arriba y del conjunto total que es la CVS; el análisis debe considerar los aspectos:

- Meteorológicos/Atmosféricos.
- Térmicos/termodinámicos.
- Flujo de fluidos.
- Mecánicos.
- Económicos.

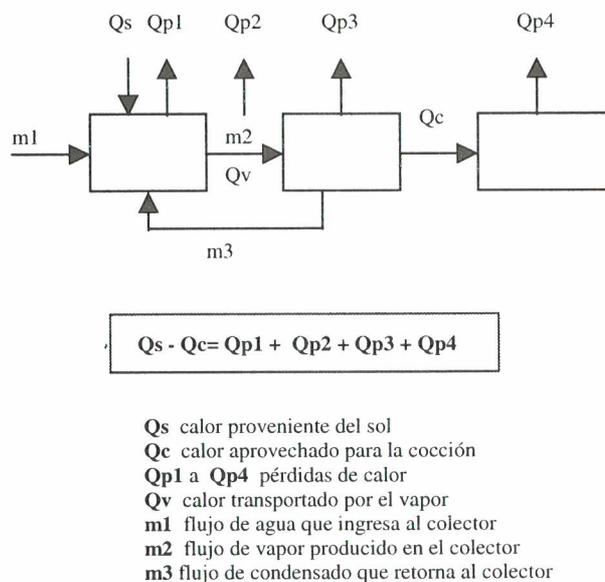


Fig. 1.- Esquema del comportamiento de la CVS

COLECTOR CPC

Los CPC son analizados en 2 y 3 dimensiones, en nuestro trabajo haremos el estudio en 2 dimensiones. La concepción básica del colector CPC es mostrada en la figura 2. Cada lado del CPC es una porción de parábola; en la figura solamente se muestra el eje y foco

¹ Asociación Argentina de Energía Solar

de la parábola Pa. Cada parábola, Pa y Pb, se prolonga hasta que la recta tangente (t) a su superficie sea paralela al eje del CPC.

El ángulo que se forma entre el eje del CPC y la recta formada al unir el foco de una parábola con el punto de tangencial (extremo superior de la apertura opuesta) es igual al semi-ángulo de aceptación ϕ_c . Si el reflector es perfecto, toda la radiación que ingresa por la apertura entre los ángulos $\pm \phi_c$, será reflejada por las parábolas hacia el receptor que se encuentra en la base del colector y transformada en energía térmica.

Se debe apuntar que la mayoría de los colectores de concentración, sólo aprovechan los rayos directos del sol, pero los colectores CPC son un caso especial de los colectores de concentración que también aprovechan la fracción difusa con la condición de que estos también lleguen dentro de su ángulo de aceptación, esta última característica los asemeja a los colectores planos.

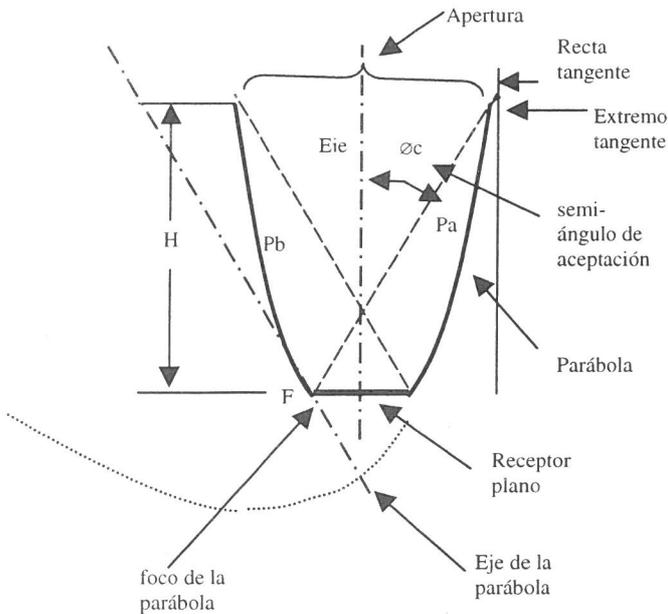


Fig. 2 Corte transversal de un colector tipo CPC en forma de canaleta

Para estos colectores el factor de concentración (C) es una función del semi-ángulo de aceptación. Para un análisis en 2 dimensiones esta dada por: $C = 1 / \sin \phi_c$.

Hasta el momento la discusión realizada es para el CPC completo, pero según análisis hechos [1] se ha comprobado que los extremos superiores

contribuyen muy poco con la reflexión de la radiación que llega al receptor y por eso el colector puede ser truncado para reducir su altura eliminando la porción de reflector que trabaja mínimamente, tal como es mostrado en la figura 3.

RECEPTOR

Receptor es aquella parte de los colectores donde la radiación incidente se transforma en calor y es transmitido a un fluido que puede ser agua u otro que se almacena para su inmediato o posterior uso. Los receptores pueden adoptar diversas formas tales como, planos, tubulares, concentradores, etc. Los planos son los más apropiados para este caso y su análisis termodinámico se encuentra en la mayoría de los libros que tratan sobre colectores. Para nuestro trabajo el receptor tiene una forma plana, entonces su análisis es idéntico al de un colector plano común.

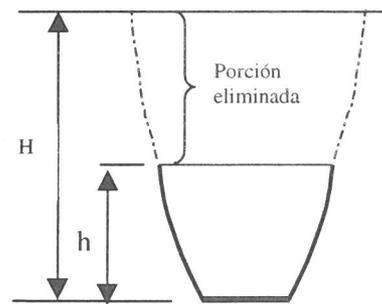


Fig. 3.-Colector CPC truncado a una altura h.

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA CVS

- El colector debe estar orientado de norte a sur, viendo hacia el norte. Entonces el seguimiento al sol será de este a oeste.
- La inclinación del colector debe ser igual a la latitud de donde se instalará la CVS, o se le suma 10° para garantizar mayor aprovechamiento en tiempos de invierno.
- El colector tendrá un tiempo de reorientación solar de 2 horas, sobre la base de asumir que en 2 horas se puede cocinar una comida completa.

- d. La CVS debe tener similar área de captación que las cocinas parabólicas que son vendidas por la empresa EG-Solar, que tienen un área de 1.54m^2 (para efectos de comparación).
- e. Usar planchas de aluminio pulido de tamaño comercial ($600 \times 1000\text{mm}$), para reducir costos al no tener desperdicios
- f. La capacidad de las ollas de cocción aproximada a 4 litros.
- g. Buen comportamiento de los materiales usados especialmente en el receptor arriba de 200°C .
- h. Uso de materiales livianos en el colector para facilitar la reorientación.
- i. Factor de eficiencia F' del receptor mayor a 0.85.
- j. Relación F'/costo , lo más alto posible.
- k. La selección de los materiales apropiada para el funcionamiento deseado de la CVS, con criterio de economía.

DISEÑO Y CONSTRUCCION

MODELO CONCEPTUAL.-

En la figura 4 se observa la CVS en su totalidad conformada por tres partes principales y una complementaria o auxiliar:

- a. Colector CPC.
- b. Sistema de cocción (Cámara de vapor u hornilla y recipientes de cocción).
- c. Tuberías de vapor.
- d. La estructura soporte (parte auxiliar).

DISEÑO DEL COLECTOR CPC

Reflectores.- Se desarrolló un programa en la hoja de cálculo Excel con su herramienta de programación Visual Basic para Excel, que nos ayuda a calcular las dimensiones del colector, para lo cual debemos tener el diseño conceptual mostrado en la figura 5.

El programa consiste en ingresar los siguientes datos del colector CPC:

- θ_c , en grados sexagesimales
- d, longitud del receptor en mm.
- L, longitud del reflector.

Después de dar la orden de ejecutar retorna como resultado los valores:

- D = (apertura)
- C = (factor de concentración del colector truncado)
- h = (altura del colector truncado).

Se aplicó el programa mencionado con los siguientes datos:

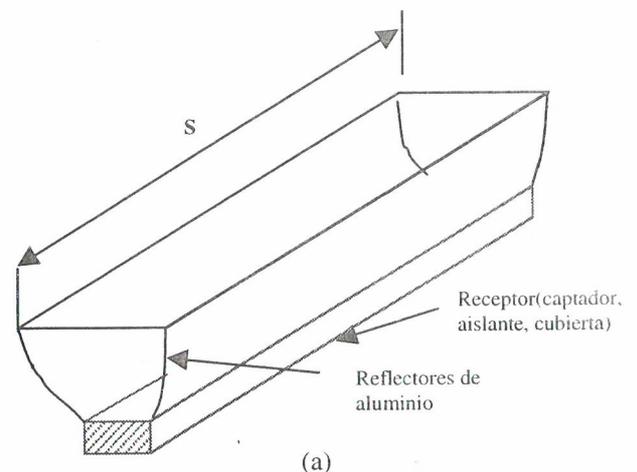
$$\theta_c = 15^\circ, d = 350\text{mm}, L = 600\text{ mm}$$

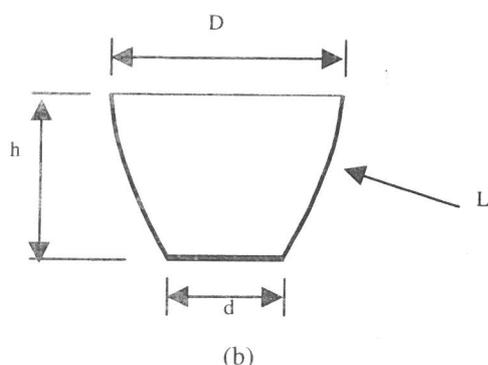
Este último para utilizar las planchas de aluminio completas sin ningún corte, y $\theta_c = 15^\circ$ para que la cocina sea capaz de aprovechar la radiación solar sin ninguna reorientación por un periodo de dos horas (porque la velocidad angular aparente del sol es $15^\circ/\text{hora}$ de este a oeste y el colector tendrá un ángulo de aceptación de $2\theta_c = 30^\circ$).

Luego de ejecutar el programa se obtuvo:
D = 850 mm, C = 2.43, h = 452 mm
y con:

S = 2000 mm (medida similar a los colectores comunes) se obtiene una área teórica de $A = 1.7\text{ m}^2$. Con estos valores ya se puede construir el perfil del reflector.

Según los cálculos se usarán 4 planchas de aluminio, 2 por cada lado de reflector.





- h = altura del colector truncado
 L = longitud del reflector (porción de parábola)
 D = apertura
 d = longitud del receptor.

Fig. 5.- Vista isométrica (a) y perfil (b) del CPC.

Receptor.- El diseño es similar a la de un colector plano.

DISEÑO DEL SISTEMA DE COCCION (HORNILLA)

Cámara de vapor.- Al inicio se pensó fabricarla de acero inoxidable, pero resultaba muy caro por lo tanto se decidió remplazarlo por una olla de aluminio, que será cubierta con aislante (lana de vidrio) de 1" de espesor y finalmente para proteger el aislante otra olla de aluminio de mayor diámetro.

Recipientes de cocción.- Son ollas de aluminio seleccionadas de manera que:

- La hornilla 1 tiene una capacidad de 4 litros.
- La hornilla 2 tiene una capacidad de 2 litros.

La relación de tamaño entre las ollas que forman el recipiente de cocción y la cámara de vapor, es menor que la unidad en razón del espacio necesario entre ellas que hace las veces de cámara de vapor.

DISEÑO DE TUBERIAS

Se seleccionó tuberías de 1" de diámetro de fierro galvanizado y aislante de lana de vidrio 1" de espesor por recomendaciones de catálogos.

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Ha sido diseñada completamente desarmable. Fue fabricada con perfiles estructurales de acero (ángulos, tes, platinas). Algunas uniones han sido soldadas y otras sujetas con pernos y tuercas para facilitar el armado y desarmado.

MATERIALES

Todos los materiales que conforman la cocina solar de vapor son de fácil adquisición en el mercado nacional excepto las planchas de aluminio pulido de origen alemán que se encuentran únicamente en la empresa E.G. Solar que vende cocinas solares parabólicas.

MATERIALES QUE CONFORMAN EL COLECTOR

MATERIALES DE LOS REFLECTORES.-

Son los siguientes:

4 planchas de aluminio pulido de 600*1000 mm².

Perfiles estructurales de acero, en L, en T, platinas y redondos.

Elementos de unión.

Cadenas y guiador.

MATERIALES DEL RECEPTOR.- Son los siguientes:

6 tubos de cobre ($\varnothing=1/2''$) de 1.9 m de longitud.

2 tubos de cobre ($\varnothing=1''$) de 0.5 m de longitud.

Placa de plancha galvanizada de 2*0.5 m² de 0.05 mm de espesor.

2 cubiertas de vidrio de 3 mm de espesor 1.90*0.35 m².

1 plancha de lana de vidrio de 1" de espesor.

Madera natural y contraplacada.

Alambre, clavos, tachuelas.

1 chisguete de silicona transparente para vidrio

1 atomizador de negro mate.

MATERIALES QUE CONFORMAN LAS TUBERIAS.-

Como quiera que la CVS esta conformado por dos hornillas, las cantidades de algunos materiales indicadas en la relación que sigue, deben multiplicarse por dos:

Niples de fierro galvanizado de 1" de diámetro.

Codo, tes, uniones universales de fierro galvanizado.

1 válvula de 1" de diámetro.

2 pedazos mangueras de radiadores.

1 plancha de lana de vidrio de 1" de espesor.

1 rollo de cinta autoadhesiva de aluminio.

Cinta autoadhesiva de plástico.

4 abrazaderas.

Cinta teflón.

MATERIALES QUE CONFORMAN LA HORNILLA.-

Esta conformada por:

Primera hornilla:

1 olla de aluminio número 36 (el número representa el diámetro de la misma en cm).

1 olla de aluminio número 26.

1 olla de aluminio número 20 donde se realiza la cocción de los alimentos, que tiene una capacidad de 4 litros.

Un pedazo de tubo de fierro galvanizado de 1" de diámetro.

Pedazos de madera.

1 plancha de lana de vidrio de 1" de espesor.

Elementos de unión.

1 chisguete de silicona para el aislamiento.

Segunda Hornilla:

1 olla de aluminio número 36 (el número representa el diámetro de la misma, en cm).

1 olla de aluminio número 24.

1 olla de aluminio número 18 donde se realiza la cocción de los alimentos, que tiene una capacidad de 2 litros.

El resto de materiales es similar a la hornilla 1.

MATERIALES QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA.-

Esta conformado por los siguientes materiales:

Perfiles estructurales de acero, en L, en T y platinas.

Elementos de unión.

CONSTRUCCION

La construcción del prototipo de la cocina solar de vapor se realizó en su totalidad en el taller

de la empresa E.G. Solar, excepto los siguientes trabajos:

Soldado de los tubos de cobre (soldadura autógena).

Doblado de la plancha galvanizada, para dar forma a las aletas de los tubos del receptor.

El tiempo empleado fue una semana para el resultado prototipo y una semana más para las modificaciones necesarias hasta lograr el resultado prototipo final.

CONSTRUCCION DEL COLECTOR

Construcción de los Reflectores.- Para dar la curvatura parabólica a las planchas de aluminio se usaron las platinas, que se les dio la forma de curvas parabólicas teniendo un molde dibujado en cartulina. La operación de doblado de las platinas se realizó manualmente con ayuda del martillo dando golpes sobre un yunque hasta que poco a poco se iba dando la forma correcta. Como la longitud transversal de los espejos de aluminio es de 600 mm, entonces las platinas también tienen esta longitud. Se doblaron un total de 10 platinas, que luego fueron soldadas a dos marcos hecho de ángulos, superior e inferior. Posteriormente se perforaron los 4 espejos de aluminio y las platinas dobladas y se sujetaron mutuamente por los orificios mediante tornillos de ¼", resultando de esta manera los reflectores parabólicos (ver figura 6).

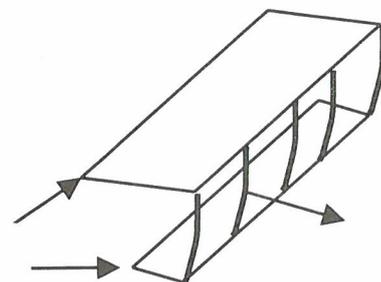


Fig. 6.- Se muestra la disposición de las platinas con los marcos.

Construcción del receptor.- Se siguió el procedimiento establecido para el caso de colectores planos.

Construido el colector tiene como área efectiva $1.80 \times 0.83 \text{ m}^2 = 1.53 \text{ m}^2$, medida con cinta métrica y que se usarán para los cálculos.

INSTALACION DE LAS TUBERIAS.-

Las tuberías se instalaron para conectar la salida del colector con cada una de las hornillas, como la salida del colector es de cobre y la tubería de fierro galvanizado, no hay en el mercado uniones para conectarlos, por lo tanto se compró pedazos de mangueras para radiadores con lo que se les unió. Lo mismo se hace para conectar la tubería con la hornilla.

Finalmente se les aisló adecuadamente con aislante de 1" de espesor.

CONSTRUCCION DE LAS HORNILLAS.- La construcción de las dos hornillas son similares por eso se describirá solamente de una de ellas.

Construcción de la primera hornilla.- Para un mejor entendimiento de la construcción ver la figura 7, donde se muestra la hornilla con sus partes respecto a todo el sistema de la CVS.

Finalizada la construcción de todas las partes de la cocina, se procedió a pintar la estructura utilizando los equipos y materiales correspondientes, que no se describen por considerar que no son de importancia.

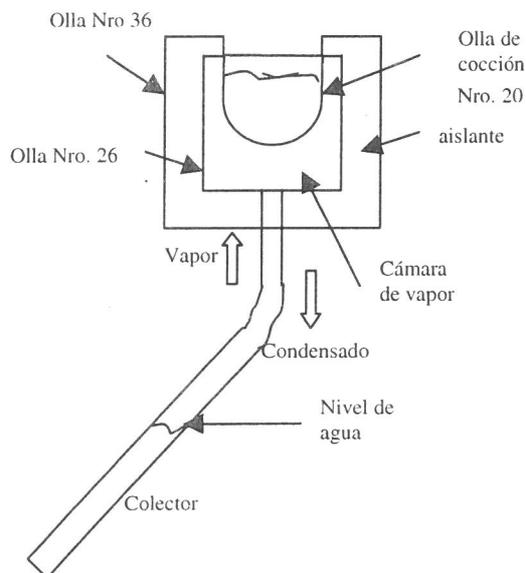


Fig. 7.- Esquema de la hornilla.

EXPERIMENTACION

Para un mejor análisis del prototipo se decidió dividir las experiencias en dos categorías:

a. De todo el sistema.- Consiste en llenar una determinada cantidad de agua en cualquiera de las ollas y ponerlos en su respectiva hornilla y medir la temperatura de inicio del agua y su variación cada 5 minutos. También se midió la radiación solar perpendicular a la superficie del colector para que con los dos datos medidos se pueda hallar la eficiencia (n%) global del sistema para cada intervalo de tiempo medido. Se inició los experimentos en el momento en que el colector estaba produciendo vapor en forma estable. La cantidad de agua que se puso en el interior de los tubos de receptor fue a 3/4, 1/2 y 1/3 de su longitud y se mantuvo en este nivel mientras duró el experimento aumentando agua por el embudo.

Para alternar las hornillas se cerraba y abría la válvula respectiva, no se probó con las dos hornillas a la vez porque no fluía vapor por una de ella al abrir sus válvulas.

Se finalizaba el experimento cuando la temperatura del agua en las ollas ya no aumentaba a una velocidad razonable, generalmente esto se daba pasado los 95 grados de temperatura.

b. Del colector.- Este experimento consiste en llenar agua en los tubos del receptor hasta los niveles de 3/4, 1/2 y 1/3 de su longitud y mantenerlo mientras dure el experimento llenando agua por el embudo, y dejar que el agua se evapore libremente (por las hornillas sin ollas) hacia el medio ambiente, para luego de un tiempo que generalmente ha sido 2 horas parar el experimento y sacar el agua sobrante y hallar la cantidad de agua que se ha evaporado. Se ha medido la temperatura de ingreso de agua, la cantidad de agua evaporada y la radiación solar sobre el colector para que con estos datos se halle la eficiencia del colector.

Los experimentos se realizaron entre las fechas 20/04/99 al 07/05/99 entre las 10 am y 2 pm en días donde había relativamente una buena radiación solar como promedio alrededor de 5 KWh/m²-día. Las características de estos experimentos son las siguientes:

De todo el sistema.

- a. 4 litros de agua, Hornilla 1, con agua a 3/4 de la longitud de los tubos.
- b. 2 litros de agua, Hornilla 1, con agua a 3/4 de la longitud de los tubos.
- c. 2 litros de agua, Hornilla 2, con agua a 3/4 de la longitud de los tubos.
- d. 2 litros de agua, Hornilla 1, con agua a 1/2 de la longitud de los tubos.
- e. 0.625 litros de agua, Hornilla 1, con agua a 1/2 de la longitud de los tubos.
- f. 1.375 litros de agua, Hornilla 2, con agua a 1/2 de la longitud de los tubos.
- g. 0.625 litros de agua, Hornilla 2, con agua a 1/2 de la longitud de los tubos.
- h. 2 litros de agua, Hornilla 1, con agua a 1/3 de la longitud de los tubos.
- i. 1.250 litros de agua, Hornilla 1, con agua a 1/2 de la longitud de los tubos, colector sin reflectores, para ver la eficiencia de un colector plano que es el receptor sin los reflectores.

Del colector.

- j. Con agua a 3/4 de la longitud de los tubos.
- k. Con agua a 1/2 de la longitud de los tubos.
- l. Con agua a 1/3 de la longitud de los tubos.

INSTRUMENTOS.- Se usaron los siguientes instrumentos:

- Digital Thermometer Model 306
Marca C.E.
- Solarímetro
Instruments Haenni Messger °A° TE
Solar 118, SN 5093046, Sensor Haenni
Solar 130
- Un reloj digital para medir el tiempo.
- Un vaso para medir volumen en mililitros.

ANALISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los datos tomados en las experiencias se han clasificado en dos, uno involucrando a todo el sistema y el otro solamente el colector. En el primer caso se halló la eficiencia para cada intervalo de tiempo entre medidas. Para el segundo caso se halló la eficiencia global, desde que se agrega agua a los tubos hasta el final del experimento. Incluye el

tiempo que demora en calentarse el agua hasta su temperatura de ebullición e inicio de la evaporación. De las dos experiencias la más representativa es la primera que involucra a todo el sistema que nos muestra como realmente funciona el prototipo. En la figura 8 se muestran las curvas de funcionamiento del prototipo hallados mediante el procesamiento de los datos tomados en las experiencias. Estas curvas representan sólo a los experimentos más expresivos de los cuales se pueden sacar conclusiones.

Las tablas anexas n°s 1,2,3 y 4 constan de datos con sus respectivos cálculos tomados en las experiencias 1,2 y 8 que son base para graficar las curvas de la figura 8.

La eficiencia promedio (n) que figura al pie de las tablas 1,2,3 y 4 ha sido calculada sobre la base de la eficiencia diaria para temperatura de agua 80°

CONCLUSIONES

- a. La eficiencia promedio de la CVS es igual 20%, medida desde que se pone la olla a la hornilla hasta que llegue a temperatura de $\leq 80^{\circ}\text{C}$, suficiente para empezar a cocinar.
- b. Se cumplió con los objetivos de diseñar una CVS con colector CPC.
- c. En los experimentos de todo el sistema, la eficiencia más alta ocurrió cuando el agua dentro de los tubos del colector estuvo a 3/4 de su longitud.
- d. El nivel óptimo de agua dentro de los tubos del colector esta comprendido entre 1/2 y 3/4 de su longitud con los que se obtiene las eficiencias más altas.
- e. La eficiencia promedio más alta registrada de la CVS es 22%.
- f. El nivel de agua dentro de los tubos del colector más desfavorable es a 1/3 de su longitud.
- g. La eficiencia trabajando solamente el receptor sin reflectores(similar a un colector plano) tubo el valor de 2%. Lo que demuestra ineficacia de los colectores planos al trabajar a altas temperaturas.
- h. En los experimentos del colector se obtiene mayores valores de eficiencia con niveles de agua 3/4 y 1/2 dentro de los tubos, 19% y 22% respectivamente.

- i.* El costo de la construcción del prototipo de la CVS fue alrededor de 1600 nuevos soles. Pero por estimaciones posteriores se puede reducir a un valor que bordea los 1000 nuevos soles, optimizando el uso de material y tiempo de construcción. Costo razonable para una cocina solar.

RECOMENDACIONES

- a.* Se recomienda que para el diseño final los tubos de ingreso y salida de agua del receptor se encuentren en el eje del receptor para así evitar las curvas de las tuberías en dirección a las hornillas.
- b.* Según las conclusiones se recomienda usar el colector con niveles de agua en los tubos comprendidos entre 1/2 y 3/4 de su longitud.
- c.* Para futuros diseños de CVSs se recomienda usar como eficiencia de diseño el valor de 20%.

AGRADECIMIENTO

La construcción del colector fue hecha por el autor de este artículo y el Sr. Alcides López Baca, representante de ventas de la empresa EG Solar.

REFERENCIAS

1. Duffie J.A. y Beckman W.A., "Solar Engineering of Thermal Processes", Madison Wisconsin, June 1980.
2. Manrique J.A., "Energía Solar, Fundamentos y Aplicaciones", Industria editorial Fototérmicas Reg. 723, 1984.
3. Kuhnke K., Reuber M. y Schwefel D., "Solar Cookers in the Third World", República Federal de Alemania, 1990.
4. Dr. Nandwani S.S., "La Cocina Horno/Solar" Editorial Fundación, UNA, 1993.
5. Kern D.Q., "Procesos de Transferencia de Calor".

TABLA 1: ANALISIS DE PRUEBA DE TODO EL SISTEMA

Experimento número : 1)					
Descripción	4 litros de agua, Hornilla 1, con agua a 3/4 de la longitud de los tubos.				
Fecha	29/04/99				
Volumen de agua	4000 ml				
Hora de inicio	1:10 p.m.				
t (min)	Tagua(°C)	Rad(w/m2)	$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta t(\text{min})$	η %
0	25	904			
5	34	886	9	5	37%
10	40	896	6	5	25%
15	45	887	5	5	20%
20	50	878	5	5	21%
25	54	870	4	5	17%
30	58	883	4	5	17%
35	63	870	5	5	21%
40	68	855	5	5	21%
45	72	851	4	5	17%
50	76	845	4	5	17%
55	79	850	3	5	13%
60	81	835	2	5	9%
65	84	827	3	5	13%
70	86	818	2	5	9%
75	88	830	2	5	9%
80	90	778	2	5	9%
η (eficiencia promedio para temperaturas menores a 80°C) = 20%					

TABLA 3: ANALISIS DE PRUEBA DE TODO EL SISTEMA

Experimento número : 8)					
Descripción	2 litros de agua, Hornilla 1, con agua a 1/3 de la longitud de los tubos.				
Fecha	06/05/99				
Volumen de agua	2000 ml				
Hora de inicio	1:10 p.m.				
t (min)	Tagua(°C)	Rad(w/m2)	$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta t(\text{min})$	η %
0	28	851			
5	35	838	7	5	15%
10	42	838	7	5	15%
15	49	819	7	5	15%
20	56	841	7	5	15%
25	62	830	6	5	13%
30	68	821	6	5	13%
35	74	828	6	5	13%
40	80	839	6	5	13%
45	83	822	3	5	7%
50	87	834	4	5	9%
η (eficiencia promedio para temperaturas menores a 80°C) = 14%					

TABLA 2: ANALISIS DE PRUEBA DE TODO EL SISTEMA

Experimento número : 2)					
Descripción	2 litros de agua, Hornilla 1, con agua a 3/4 de la longitud de los tubos.				
Fecha	29/04/99				
Volumen de agua	2000 ml				
Hora de inicio	12:05 p.m.				
t (min)	Tagua(°C)	Rad(w/m2)	$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta t(\text{min})$	η %
0	25	917			
5	38	925	13	5	26%
10	50	921	12	5	24%
15	62	932	12	5	24%
20	72	921	10	5	20%
25	81	928	9	5	18%
30	87	932	6	5	12%
35	92	923	5	5	10%
40	96	913	4	5	8%
η (eficiencia promedio para temperaturas menores a 80°C) = 22%					

TABLA 4: ANALISIS DE PRUEBA DE TODO EL SISTEMA

Experimento número : 9)					
Descripción	1,250 litros de agua, Hornilla 1, con agua a 1/2 de la longitud de los tubos. Sin reflectores.				
Fecha	06/05/99				
Volumen de agua	1250 ml				
Hora de inicio	11:50 a.m.				
t (min)	Tagua(°C)	Rad(w/m2)	$\Delta T(^{\circ}C)$	$\Delta t(\text{min})$	η %
0	26	872			
10	30	878	4	10	3%
20	34	877	4	10	3%
30	37	870	3	10	2%
40	41	867	4	10	3%
50	41	855	0	10	0%
60	43	850	2	10	1%
70	42	839	-1	10	-1%
η (eficiencia promedio para temperaturas menores a 80°C) = 2%					

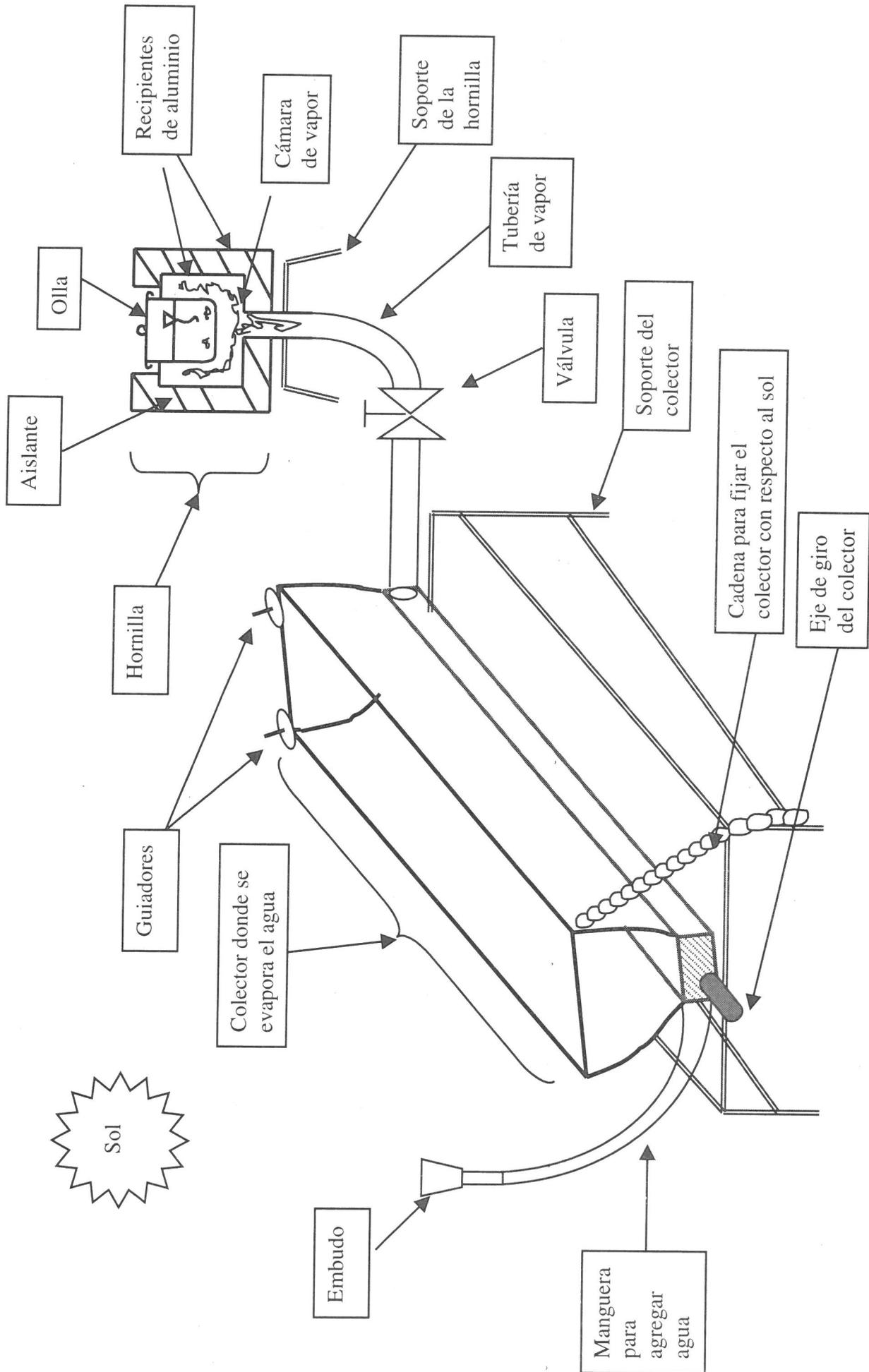


Fig. 4.- Modelo conceptual de la CVS

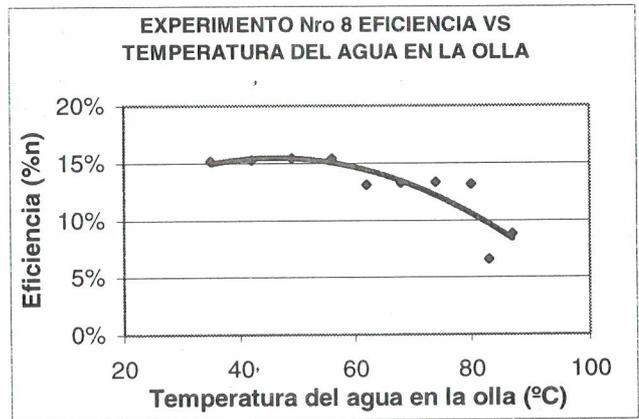
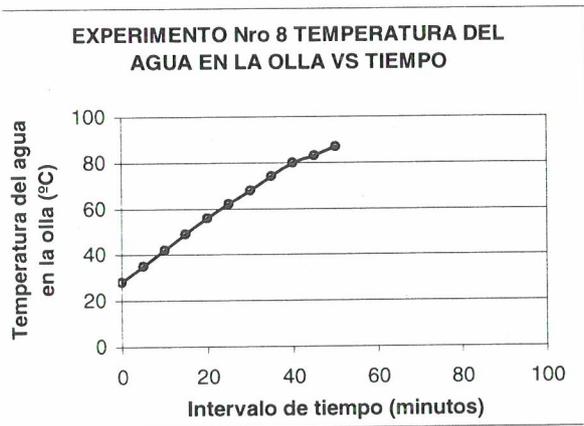
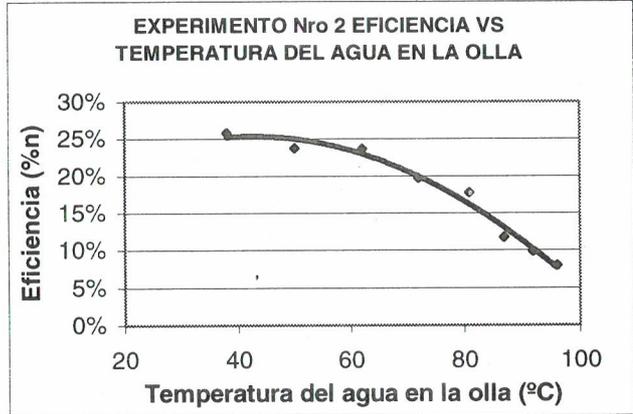
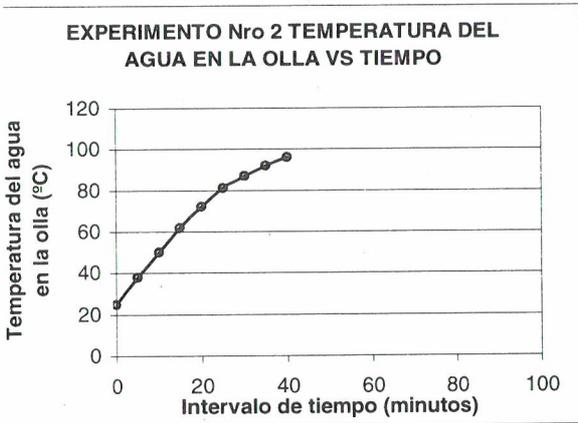
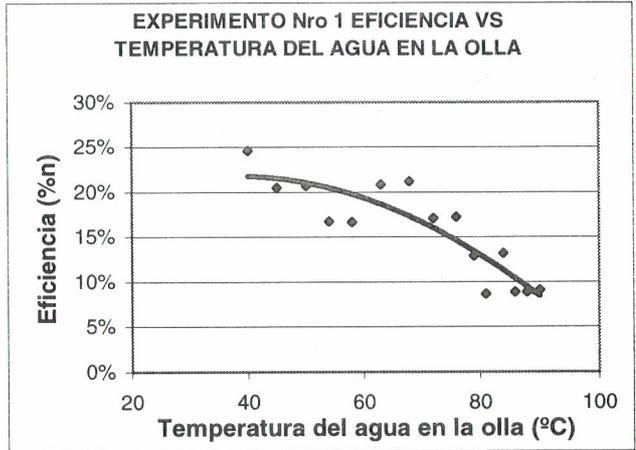
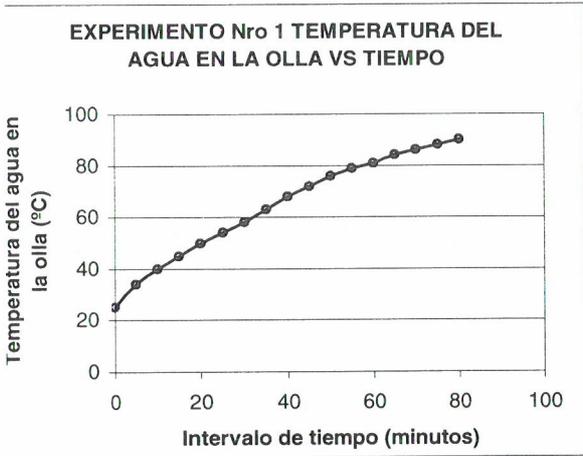


Fig. 8.- Curvas de funcionamiento del prototipo de la CVS