

ESTUDIO EXPERIMENTAL Y TEORICO DE UN HORNO SOLAR PRACTICO EN EL CLIMA DE COSTA RICA (II)

Shyam S. Nandwani*

Departamento de Física,
Universidad Nacional,
Heredia, Costa Rica.

RESUMEN

Alrededor del 40 % de la población costarricense todavía cocina con leña, lo cual ha incrementado el problema de deforestación en el país. El autor ha diseñado y construido un horno solar, con los materiales y tecnología disponible localmente.

Dicho horno está funcionando hace seis años y ha servido para cocinar casi todos los tipos de alimentos, como arroz, frijoles, hortalizas, legumbres, lentejas, pan, queque, pollo, pescado y carnes. Hemos medido varios parámetros como temperatura de la placa en función de la radiación solar, velocidad del viento y temperatura del ambiente. Algunos resultados son: El costo de los materiales para esta cocina (60 x 30 cm.) es de US\$ 30; en un día de brillo solar la temperatura de la placa llega entre 140-160°C; se puede cocinar con 2-3 horas de brillo solar una comida para una familia y con 4-5 horas de brillo solar dos comidas para una familia, tapando la cocina la comida se mantiene caliente hasta 3 horas.

La experiencia ha mostrado que se puede cocinar durante 7 a 10 meses al año en varios lugares de Costa Rica. Se han hecho cálculos teóricos para la temperatura de la placa respecto de algunas va-

riables, con el fin de deducir la eficiencia y coeficiente de pérdida del horno. Finalmente se ha mencionado el ahorro del gas propano, cañón, electricidad y leña, utilizando dicha cocina.

ABSTRACT

Around 40 % of Costa Rican population use firewood for cooking which has contributed to good extent in the problem of deforestation. This along with other reasons gave an idea, to the author, for designing, constructing and studying one simple and cheap solar oven. This oven is being used by the author for last six years for cooking various types of foods e.g., rice, red beans, vegetables, chicken, beef, fish, cake and bread. We have measured plate and food temperature as a function of solar intensity, ambient temperature and wind velocity etc. Some of the important results are: on a clear day the plate temperature can reach as high as 140-160°C; with 4-5 hours of sun shine one can cook two meals for a family of 4-5 persons; closing the oven the food can be maintained hot for another 2-3 hours. Experience have shown that one can cook for 7-10 months in a year depending

* Miembro de la International Solar Energy Society y miembro asociado del International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italia.

upon the place in Costa Rica. Experimental results have been compared with simple theoretical calculations and finally various advantages, including economical, social and health, etc., have been discussed.

INTRODUCCION

De la energía que se consume en una casa, un gran porcentaje se emplea para cocinar alimentos. En el mundo hay millones de individuos que no tienen ningún tipo de combustible para cocinar los alimentos. En muchos países en vía de desarrollo la leña es el combustible principal para cocinar. Aparte del problema de la deforestación y erosión del suelo, lamentablemente cada día la leña para cocinar es más difícil de conseguir y en algunos países las personas tienen que caminar hasta 30 km. para obtenerla. En Costa Rica, cerca del 40 % de la población utiliza leña para cocinar, lo cual justifica la construcción de una cocina-horno solar.

Mundialmente se han desarrollado dos tipos básicos de cocinas solares (Daniels, 1977; Halacy, 1978; Naciones Unidas, 1979):

- a. La directa, o cocina de enfoque, en la cual los alimentos (o el recipiente que los contiene) se colocan en el punto focal de un espejo parabólico. Un régimen de concentración entre 20 y 100 dará un rendimiento similar al de un fuego abierto.
- b. La cocina del tipo de caja u horno, es una cámara aislada con una ventanilla a un lado, a través de la que penetra la radiación solar, generalmente con un número de espejos planos.

Un régimen de concentración entre 2 y 4 dará más o menos el mismo rendimiento que un horno doméstico medio.

Es recomendable realizar un esfuerzo para el diseño y construcción de una cocina lo más barata posible, apropiada para ser utilizada en países en vía de desarrollo y que pueda producir mano de obra semicalificada sin necesidad de maquinaria pesada.

Dado que los alimentos no se deben calentar, en ningún caso, más de 100°C, ya que su contenido en agua pone un límite al aumento de la temperatura, parece ser que un horno tipo caja, bien diseñado, puede suministrar la temperatura necesaria para cocinar adecuadamente los alimentos.

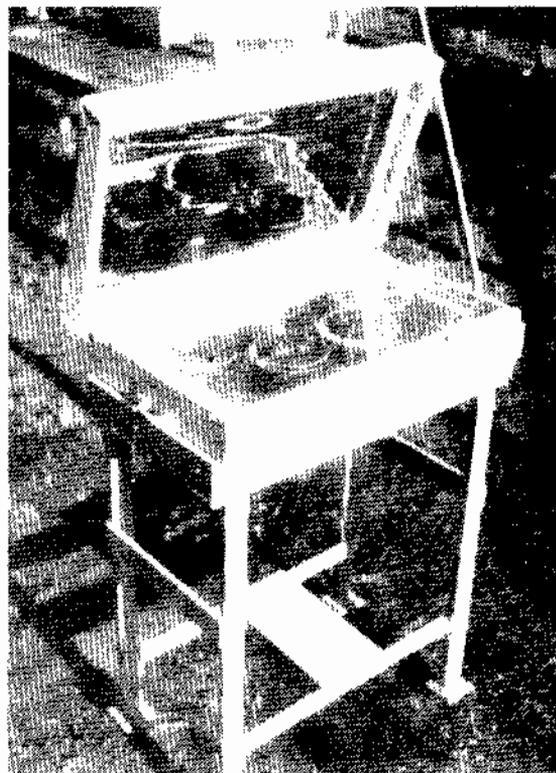


Figura 1a

Estructura del horno solar.

En el presente trabajo se aboga por un horno solar diseñado, construido y estudiado por el autor por primera vez en Costa Rica, en 1979. Para su construcción se usó materiales y tecnología nacional; actualmente el horno sigue funcionando. Aunque los detalles de la construcción y funcionamiento del horno fueron presentados brevemente en el Simposio Internacional (Nandwani, 1980; Nandwani, 1982), una parte de los datos técnicos y análisis teóricos fueron enviados recientemente por primera vez a una revista especializada (Nandwani, 1986).

Otra parte de los datos técnicos, con aspectos económicos, nutritivos y sociales son presentados por primera vez en el presente trabajo.

MATERIAL Y METODOS

La Fig. 1 muestra el diseño y modelo actual del horno solar en estudio. Consiste de una caja de madera, con dos láminas de vidrio plano en la parte superior separadas por una distancia de 2 a 2.5 cm. Dentro de la caja hay una placa metálica

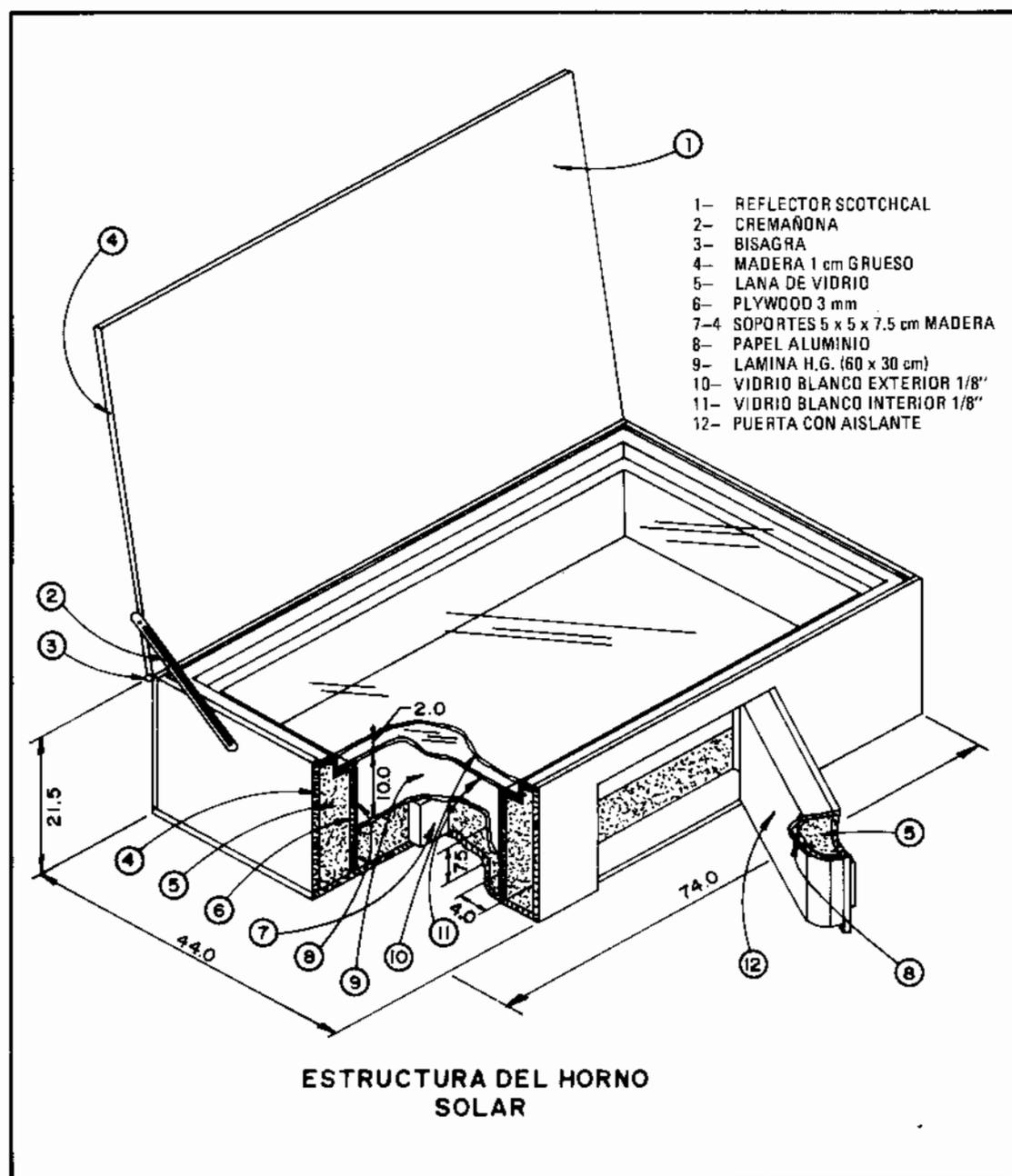


Figura 1b

Modelo actual del horno solar diseñado, construido y estudiado por el autor (componente 9, hierro galvanizado).

de hierro galvanizado (calibre 24) pintada negro mate. En la parte del fondo y a los tres lados de la placa hay un aislante de calor construido por lana de vidrio (4 cm. a los lados laterales y 7.5 cm. aba-

jo de la lámina). La parte del frente de la caja tiene una puerta para introducir y sacar los alimentos. Para aumentar la radiación sobre la placa usamos un reflector (Scotchcal), como se muestra en la

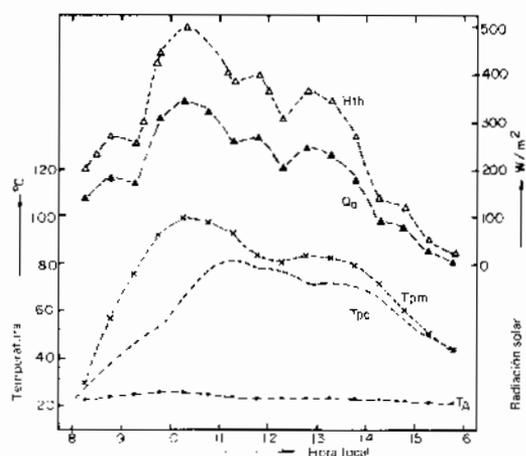


Figura 2a

La variación de la temperatura medida (T_{pm}) y calculada (T_{pc}) de la placa del horno solar (sin reflector y sin carga alguna), medida al 8 de mayo de 1985 con intensidad de la radiación solar (H_{th}). También se indica en el dibujo energía absorbida por la placa (Q_a) y temperatura ambiente (T_a).

Fig. 1. A los alimentos que se van a cocinar se les debe agregar aceite, condimentos y agua (si hay necesidad) y se mantienen dentro de las ollas herméticamente cerradas; éstas son colocadas sobre la lámina metálica, dentro de la caja, a la hora conveniente. Es muy importante sellar contra la caja de madera los vidrios interior y exterior, en todo su perímetro, con el fin de evitar fugas de calor o entradas de agua de lluvia. Para tal fin hemos utilizado pegamento silicón, disponible en todas las ferreterías nacionales. Las ollas y bandejas que hemos utilizado son de aluminio.

RESULTADOS

Se ha medido la temperatura de la placa metálica del horno y su variación con la radiación solar, la temperatura del ambiente y la cantidad de comida, con y sin reflector. Únicamente los resultados para algunos días se presentan a continuación:

La Fig. 2a muestra varios datos medidos en el día 8 de mayo de 1985, sin reflector y sin carga alguna. Aunque la radiación solar durante mayor tiempo fue únicamente entre 300-400 W/m^2 , la temperatura de la placa alcanzó entre 80-100°C.

La Fig. 2b muestra los datos medidos con el

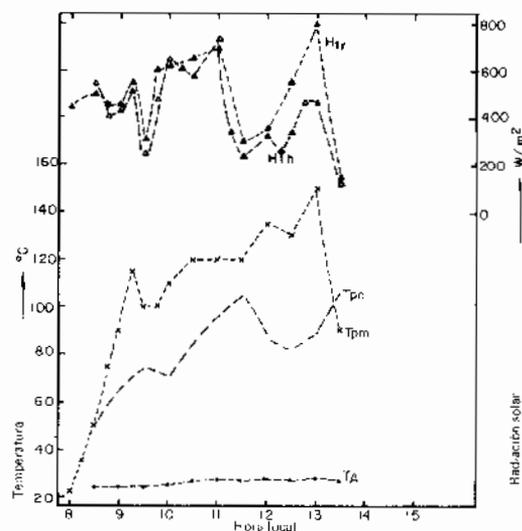


Figura 2b

La variación de la temperatura de la placa (con reflector pero sin carga alguna) medida al 22 de mayo de 1985. También se indica la radiación solar reflejada (H_{tr}) sobre el vidrio.

reflector montado, pero sin carga dentro del horno, durante el día 22 de mayo de 1985. El reflector y el horno fueron movidos cada 30-40 minutos hacia el sol con el fin de aprovechar la máxima radiación solar. Como en el caso anterior, a pesar de la baja radiación solar, la temperatura de la placa fue medida entre 120 a 150°C.

Durante el día 18 de junio de 1985, cinco ollas de aluminio (peso total 530 g.) con 600 g. de agua en cada una, fueron puestas encima de la lámina con el fin de calentarlas con la energía solar.

La Fig. 3a muestra la temperatura de la placa, del agua y del ambiente, así como la radiación solar total sobre la superficie horizontal (con y sin reflector). La temperatura máxima del agua y la placa fue 88 y 100°C, respectivamente. Durante las 8 y las 14:30 horas el aumento en la temperatura del agua (2.800 g.) fue 68°C, equivalente a la energía útil de 190.4 Kcal. Durante el mismo tiempo la energía integrada por la radiación solar sobre la placa (no reflejada) es de 709.6 Kcal. Por lo tanto, sin tomar en cuenta la energía necesaria para la evaporación del agua y para calentar 5 ollas, la eficiencia térmica del horno solar será 27 %.

La Fig. 3b muestra la variación del ángulo

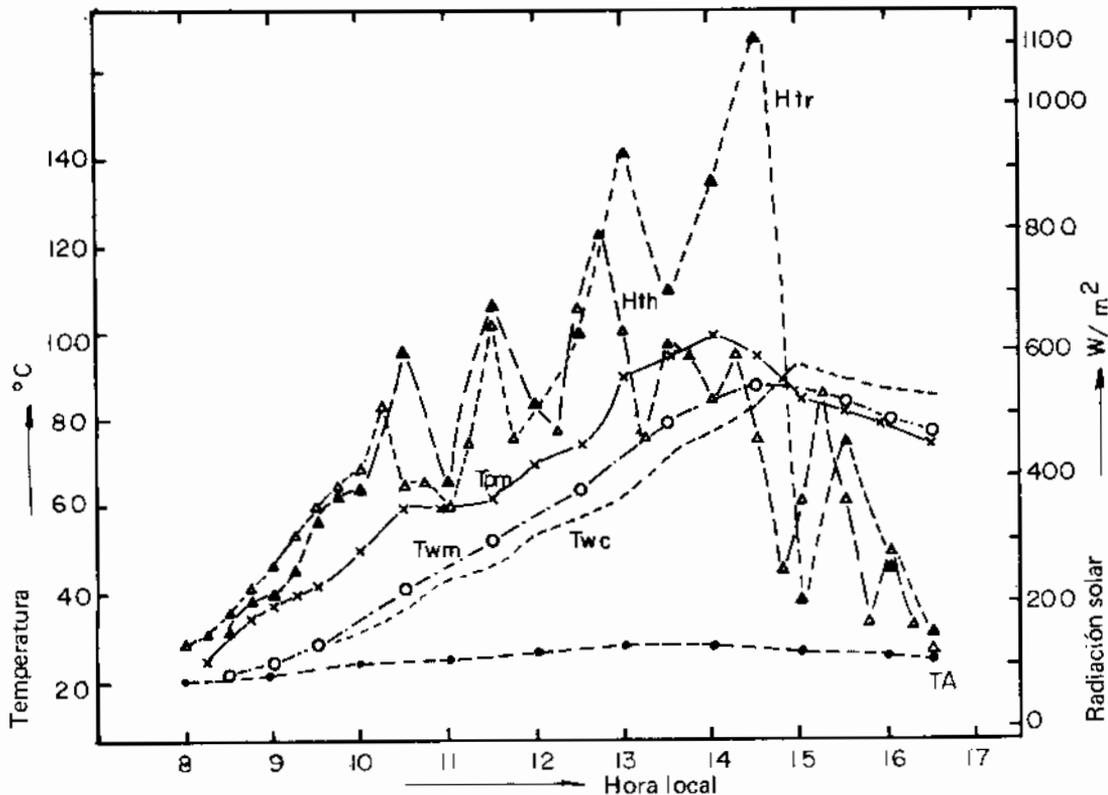


Figura 3a

La variación de la temperatura de la placa medida (T_{pm}), del agua medida (T_{wm}) y calculada (T_{wc}), durante el día 18 de junio de 1985.

del reflector (Z) con el ángulo de incidencia del sol (Θ) con el fin de que los rayos solares incidan sobre el centro del vidrio del horno. Esta figura también muestra los rangos de los ángulos de incidencia desde 06:30 horas hasta las 12 horas, durante varios meses del año en la latitud de Costa Rica (10° N). Dicho gráfico en principio sirve al usuario del horno para ajustar el reflector cuando decida salir de casa, es decir, el usuario puede ajustar el reflector correspondiente a la hora 11 a.m., en el caso de que él deba dejar la casa entre las 10 y 12 horas. Es obvio que después de un tiempo de usar el reflector y el horno, éstos se pueden orientar sin necesidad de gráfica.

En resumen, dependiendo de la intensidad del sol, la temperatura dentro del horno solar puede alcanzar hasta $100-150^{\circ}\text{C}$, lo cual es suficiente para cocinar los alimentos, lentamente pero con gusto delicioso. El horno en cuestión, con un área de 0.2 m^2 , es capaz de cocinar una comida durante 2-3 horas de brillo solar y dos comidas durante 4-5

horas del brillo solar. Además la comida se mantiene caliente hasta 3 horas después de que se haya tapado el horno con el reflector.

La temperatura de la placa y agua fueron calculados teóricamente utilizando las ecuaciones básicas (Duffie y Beckman, 1980), aplicando al presente diseño, datos termo-ópticos de los materiales correspondientes y los datos climatológicos del lugar (Nandwani, 1986). La ecuación final para calcular la temperatura de la placa es:

$$T_{p, f} = T_a + \frac{S}{U_L} \left[\frac{S}{U_L} \cdot (T_{p, i} - T_a) \right] \exp \left[\frac{-AU_L}{(MC)_c} \tau \right]$$

donde $T_{p, f}$ = temperatura final de la placa después del tiempo τ .

$T_{p, i}$ = temperatura inicial de la placa.

S = radiación solar durante el período.

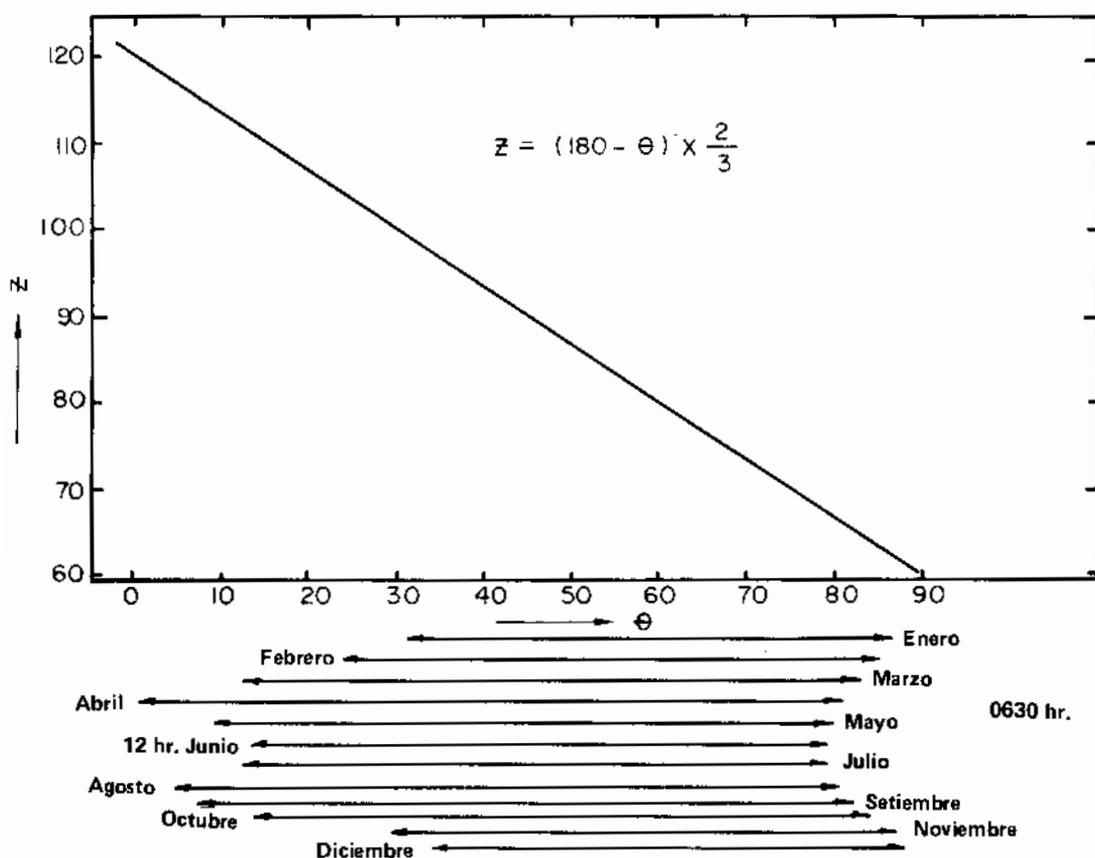


Figura 3b

La relación entre el ángulo óptimo del reflector (Z) con el ángulo de incidencia del sol (Θ).

U_L = coeficiente total por pérdida del calor.

T_a = temperatura ambiente.

A = área de la lámina.

$(MC)_c$ = capacidad calórica del horno incluyendo todos los materiales usados.

Utilizando $(MC) = 3.176 \text{ J/}^\circ\text{C}$, las temperaturas de la placa fueron calculadas y se muestra (T_{pc}) en las gráficas 2a, 2b y 3a. El experimento resulta satisfactorio.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La construcción y uso de hornos solares del tipo aquí estudiado presenta muchas ventajas y be-

neficios para el usuario y para el país. A continuación señalamos algunas de ellas:

- El costo del horno es bajo y puede ser construido fácilmente usando materiales disponibles en el mercado local y con tecnología sencilla.
- Aparte de su uso para cocinar y hornear todo tipo de alimentos, también se puede usar para calentar agua y para secar frutas.
- La comida no se quema y no se pega al utensilio.
- No se requieren cuidados especiales, por lo tanto se cocina sin preocupación, se puede ir de compras y regresar para almorzar sin problemas.

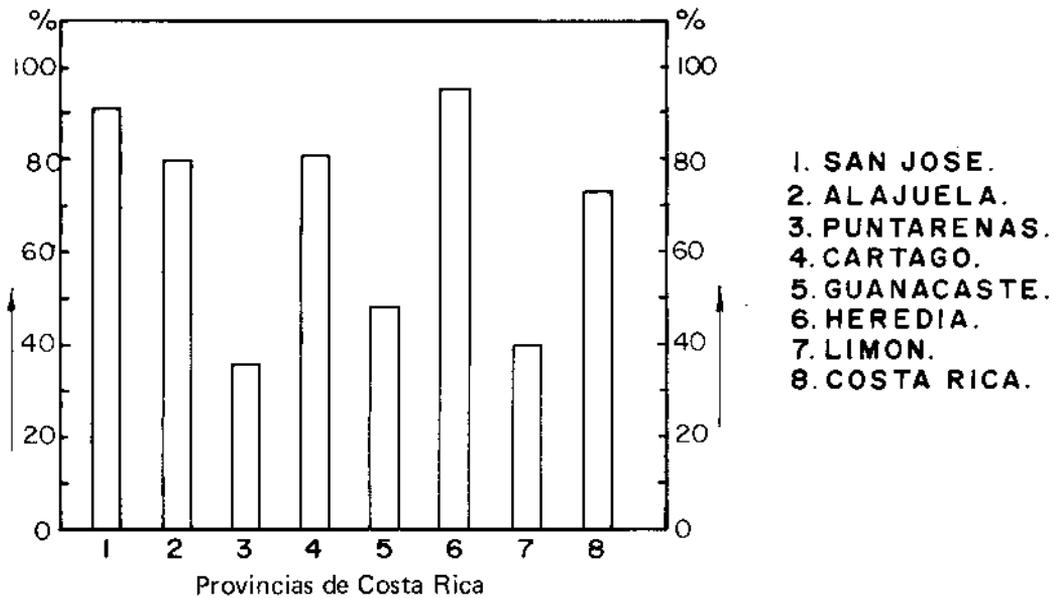


Figura 4a

Grado de electrificación en varias provincias de Costa Rica (1980).

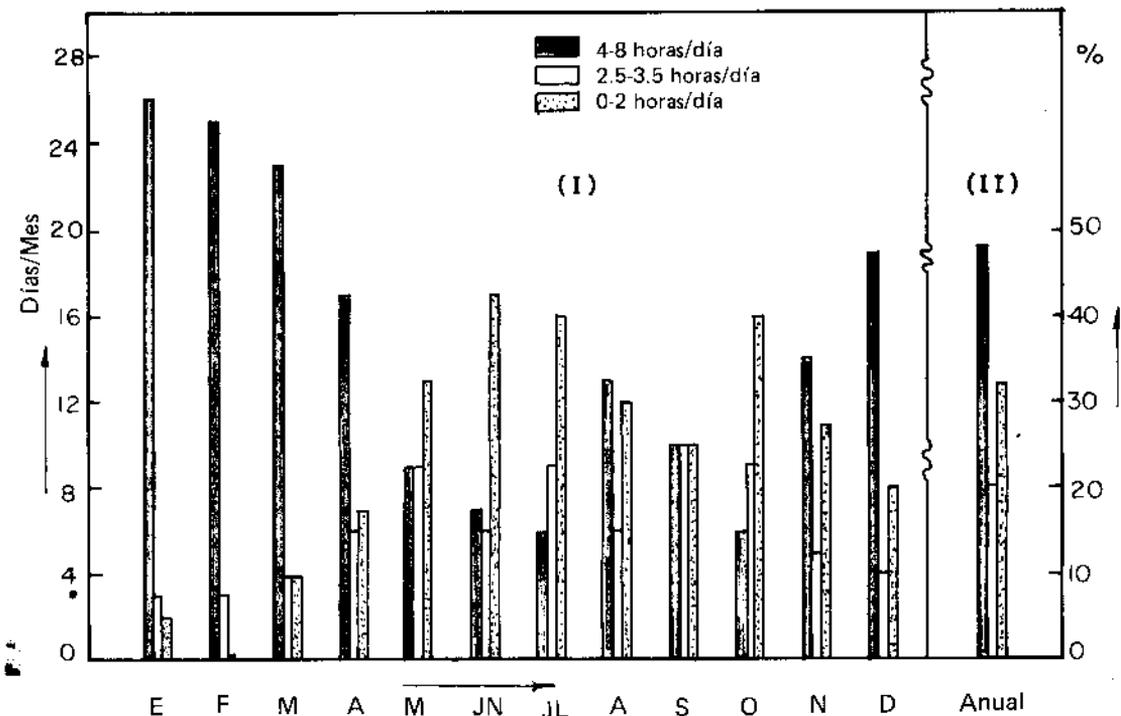


Figura 4b

Horas promedio de brillo solar en el clima de Heredia (1980-1983) durante varios meses (I) y anualmente (II).

- Tapando el horno con el reflector se puede mantener la comida caliente hasta tres horas después de cocinar.
- No hay peligro de fuego, choque eléctrico o explosión de gas.
- No existe costo de mantenimiento.
- Racionamiento o suspensión de la electricidad no siempre impedirá el almuerzo.

Desde el punto de vista de la nutrición y de la salud: el horno no produce humo ni ceniza; así no contamina la atmósfera y ello contribuye a mantener la buena salud.

- Los alimentos se cocinan como en una olla de presión y se mantienen todos los minerales de ellos.
- Como necesita menos agua para cocinar, la comida pierde menos vitaminas.
- Según el Dr. Barret (1981) —tecnólogo de alimentos— este tipo de horno puede destruir microbios contaminantes del agua.

Además, como cocinar con horno solar necesita menos agua y grasa y pierde menos vitaminas y minerales, muchos doctores lo han recomendado para los pacientes con problemas cardiacos y alta presión.

Desde el punto de vista social podemos mencionar las siguientes ventajas:

- Puede reducir la tasa de deforestación y erosión de los suelos. Como es sabido, la tasa de deforestación en Costa Rica se mantiene alrededor de los 6.000 km² anuales, en tanto que la reforestación apenas alcanza los 20 km². Con la rápida destrucción del recurso madera, los datos indican, que a 30 años plazo, no se podría satisfacer el consumo interno y sería necesario importar aproximadamente 1.000.000 m³ de madera.

Los desechos de vacas son usados en muchos países como combustibles para cocinar, lo que no es recomendable debido a que tiene mejor uso como fertilizante.

- En lugares remotos, fincas y sitios de exploración, donde a veces el costo del transporte de combustible es más alto que el costo del

combustible mismo, el uso de la energía solar puede ser una buena alternativa.

- Aunque el costo de la electricidad en Costa Rica todavía no es muy alto (\$ 0.04/kwh), cerca del 23-25 % de la población no tiene acceso a dicha fuente de energía (Fig. 4a). Afortunadamente dichas áreas son de alta radiación solar.

También podemos analizar las ventajas económicas del horno solar:

- El aumento de la tarifa eléctrica, precio de gas propano, kerosene, o leña, no afecta el presupuesto familiar.

En algunos casos cocinar fuera puede ahorrar el consumo de electricidad para un refrigerador (el cual normalmente se coloca en la misma sala de la cocina) y para acondicionamiento de la casa.

- Un horno como el descrito de área 0.18 m² cuesta cerca de USS 30-35 en materiales y puede cocinar una comida para 4-5 personas con 2-3 horas de brillo solar y dos comidas para la misma familia con 4-5 horas de brillo solar. Una estimación preliminar indica que una familia normal gasta cerca de 6 kwh de electricidad para calentar agua (baño, lavar trastos, etc.), 7.5 kwh por días para cocinar (desayuno, almuerzo, comida y café) y otros 4 kwh por día para otros artefactos como radio, televisión, equipos de sonido, etc. Como se mencionó anteriormente, con 4-5 horas de brillo solar se puede cocinar la cena y el almuerzo para una familia, con lo cual se puede ahorrar cerca de 5.5 kwh de electricidad por día. Surge una pregunta obvia: ¿En un año, cuántos días se puede cocinar los alimentos? La Fig. 4b (I) muestra el número de días con 0-2 horas de brillo solar (no se puede cocinar), con 2.5-3.5 (se puede cocinar una comida) y con 4-8 horas (se pueden cocinar dos comidas) durante varios meses del año en el clima de Heredia, Costa Rica. Como muestra en la Fig. 4b (II), durante el 48 % del período anual (175 días) dos comidas se pueden cocinar fácilmente, el otro 20 % del período (73 días) se puede cocinar únicamente una comida y durante los restantes 117 días (32 %) no se puede cocinar completamente; sin embargo, hay otras provincias como Alajuela, Puntarenas y Gua-

nacaste, donde se puede cocinar por un período más largo durante el año.

Se puede resumir que una familia con un horno del tamaño indicado puede cocinar durante 7 meses al año, ahorrando aproximadamente 1.160 kwh de electricidad. Asumiendo el rendimiento de la cocina eléctrica como un 40-50 %/o, el correspondiente ahorro de otros tipos de combustible, será:

- 210 litros de gas propano (valor calorífico 6.100 kcal./l., con un rendimiento de 30-40 %/o).
- 203 litros de canfín (valor calorífico 8.850 kcal./l. con un rendimiento de 20-30 %/o).
- 648 kg. de leña (valor calorífico 4.000 kcal./kg. con un rendimiento de 15-20 %/o).

En otros términos, el ahorro en combustible es equivalente a US\$ 40 por familia por año, por lo tanto, el costo inicial de un horno solar se puede recuperar con el ahorro de combustible en un año.

A pesar de todas las ventajas mencionadas, el uso del horno solar todavía no es popular en el país. Cerca de 40 familias han construido uno para sus casas o fincas, y 20-30 estudiantes de colegios para sus proyectos de ciencia.

Es muy importante indicar que las razones por las que no se ha generalizado el uso del horno no son universales, ya que algunas se aplican a un sector de personas, y otras a otro sector, de acuerdo con su cultura, costumbres y posibilidades.

Entre estas razones, citamos:

- El factor cultural, por cuanto es necesario romper con ciertas tradiciones y costumbres.
- El costo inicial del sistema que como inversión resulta más difícil que el ahorro acumulado de combustible durante un año.

- El subsidio en los combustibles convencionales, vale la pena mencionar que aunque el consumo de energía para cocinar es cerca de un 40-45 %/o del consumo total de la energía por casa, el costo de esta energía (US\$ 5-8 por mes) es apenas del 2 al 5 %/o del sueldo familiar.

- No existe conciencia en el nivel nacional sobre el problema de deforestación, la erosión del suelo y posible caída en el potencial hidroeléctrico.

- La falta de confianza y de conocimiento en el público.

- Algunas limitaciones del horno solar, como: no se puede cocinar cuando se necesita comida de urgencia (el proceso de cocinar dura más tiempo), además se produce frustración cuando el día comienza a nublarse, después de haber colocado los alimentos dentro del horno.

- Se necesita un patio sin árboles o edificios altos, para no crear sombras al horno solar durante el tiempo de cocinar.

- Falta de incentivos por parte del gobierno para dar subsidios a los materiales que se usan en los sistemas solares.

En conclusión, hemos mostrado la utilidad de un horno práctico y barato, estudiado científicamente con datos técnicos y económicos, en el clima de Costa Rica. Hemos indicado claramente su rentabilidad y sus ventajas, como también sus limitaciones y factores que impiden la utilización de estas cocinas en escala considerable. Sin embargo, con el tiempo, el cambio en los precios de los combustibles y de la política del gobierno (reducir subsidios o aumentar incentivos), como sí ha ocurrido con otra tecnología, se puede esperar un mayor uso de estos sistemas solares.

REFERENCIAS

- Barrett, F.F. 1981. Cooking with the Sun-Microbiological implications using Solar Energy. American Society of Microbiology. Vol. 14. p. 10.
- Daniels, Farrington. 1977. Direct use of Sun's Energy. Ballantine Books. New York. 271 pp.
- Duffie, J.A. and Beckman, W.A. 1980. The Solar Engineering of Thermal Processes. A Wiley Interscience Publications. 762 pp.
- Halacy, Beth and Dan. 1978. The Solar Cookery Book. Peace Press. 105 pp.
- Naciones Unidas. 1979. Posibilidades de Aprovechamiento de la Energía Solar para Cocinar en las Zonas en Desarrollo. pp. 144-148.
- Nandwani, Shyam S. 1980. Study of a Cheap Solar oven in the Climate for San José, Costa Rica. Presentado en el "1980 International Symposium on Solar Energy Utilization". University of Western Ontario, London, Canadá, agosto, 10-24, 1980. Publicado en Solar Energy Conversion II. Pergamon Press. p. 488 (únicamente resumen).
- Nandwani, Shyam S. 1982. Economical Study of a Simple Solar Oven in the Climate of San José, Costa Rica, presentado en "Tercer Simposio Internacional, y Primer Curso Latinoamericano sobre Energía no Convencional". Bogotá, Colombia, durante julio 13-30.
- Nandwani, Shyam S. 1986. Experimental and Theoretical Analysis of Simple Solar oven in the Climate of Costa Rica-1, enviado a la Revista Solar and Wind Technology. Pergamon Press.