

CORRECCIONES AL PROTOCOLO DE ENSAYOS DE COCINAS SOLARES PARA LA DETERMINACION DEL RENDIMIENTO TERMICO

María Emilia de Castell¹, Adolfo Finck Pastrana², Manuel Collares Pereira³,
Susana Fonseca Fonseca⁴, Alfredo Esteves⁵

¹Instituto Nacional de Tecnología y Normalización, Asunción, Paraguay

²Departamento de Ingenierías - Universidad Iberoamericana, Lomas de Santa Fe, Méjico

³Departamento de Energias Renováveis INETI, Lisboa, Portugal

⁴Centro de Investigaciones de Energía Solar, Santiago de Cuba, Cuba

⁵Laboratorio de Ambiente Humano y Vivenda (LAHV) – INCIHUSA – CRICYT

Av. Ruiz Leal s/n – C.C. 131 – 5500 Mendoza – Argentina

Tel.: 54(0) 261 4288797 – Fax: 54 (0) 261 4287370

e-mail: aesteves@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN Se presentan las correcciones al protocolo de ensayos de cocinas solares para la determinación del rendimiento térmico en base a los distintos ensayos realizados, que permiten una mayor practicidad, reducir la cantidad de ensayos y poder determinar más rápidamente la determinación del rendimiento térmico de la cocina solar. Se incluye también un modelo de la ficha a llenar para la expresión de los resultados obtenidos.

INTRODUCCION

En un trabajo previo (Castell, et al. 1999) se expuso el protocolo realizado por los integrantes de la Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos, para determinar el rendimiento térmico de las cocinas solares en base a la bibliografía existente, de manera de poder caracterizar todas las posibilidades que las mismas poseen.

En una reunión posterior y en base a varios ensayos realizados se ha decidido cambiar el protocolo, eliminando algunos ensayos y mejorando otros con el objeto de determinar de la forma más concreta y práctica posible el comportamiento térmico. A continuación se indica el procedimiento resultante.

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LOS ENSAYOS TÉRMICOS.

Todas las cocinas deben probarse bajo las mismas condiciones.

- La temperatura ambiente debe permanecer entre 15°C y 35°C.
- La radiación solar deberá ser mayor de 700 W/m² en el plano del colector. Si no fuera así, se deberían indicar especialmente.
- La fracción de radiación difusa respecto a radiación global deberá ser menor al 20%. Si no fuera así, indicarlo especialmente.
- La orientación hacia la posición del sol, de ser necesaria, debe realizarse cada 15 a 30 minutos.
- Se requieren días soleados con nublados mínimos a fin de contar con resultados reproducibles.
- Siempre deben incluirse curvas de Temperatura contra tiempo en la presentación de resultados.
- La velocidad del viento debe indicarse siempre, y de ser posible las experiencias deben efectuarse cuando tal velocidad sea de 1m/s como máximo.
- A la olla se le debe colocar en el interior 2 sensores de temperatura, uno en la base y otro en lo alto del contenido, a fin de checar la estratificación.
- Los sensores deben colocarse a través de las paredes de las ollas (nunca levantando la tapa) haciendo hoyos por arriba del nivel del contenido y sellando con sellador de siliconas.
- Los tests deben ejecutarse entre las 10 y las 14 hrs solar. La razón es que el ángulo cenital es un prácticamente constante cerca del mediodía y por ende durante el ensayo.

Registro de variables

Viento: ejecutar los ensayos de cocinas solares con velocidades de viento menores a 1.0 m/s a la altura de la cocina solar que está siendo testeadas. Si el viento está por sobre 2.5 m/s durante más de 10 minutos, descartar el ensayo. La razón radica en que las pérdidas de calor están fuertemente influenciadas por la velocidad de viento. Velocidades de viento menores de 1 m/s ayudan a mantener un coeficiente de pérdidas de calor cercano al coeficiente de convección natural, produciendo resultados que son mas

consistentes. Si fuera necesario colocar pantallas de protección teniendo en cuenta que no entorpezca la radiación incidente en la cocina.

Temperatura ambiente: realizar el ensayo con temperaturas ambientes entre 15°C y 35°C. La razón radica en que las temperaturas extremas experimentadas en una localidad pueden ser difíciles de replicar en otra localidad. La potencia de cocción está influenciada por la diferencia de temperatura. Un rango de 20°C mantiene una variabilidad moderada, aún permitirá testear en la mayoría de las localidades durante al menos la mitad del año. Si existieran excepciones deberán ser registradas.

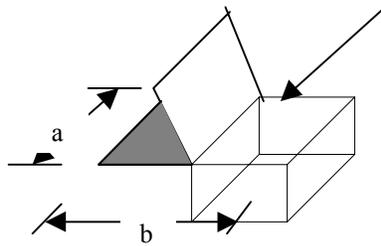
Radiación Solar: la radiación solar debe medirse en el plano horizontal, utilizando un piranómetro. Se deberá tratar de tener radiación solar mayor de 700 W/m² en el plano del colector. Se espera que la mayoría de las localidades estén de acuerdo con estos criterios. Si no fuera así, se debería indicar especialmente.

Medición de temperatura: las mediciones de temperatura se efectuarán con termocuplas dada su respuesta rápida, su exactitud y su bajo costo. Para la medición de la temperatura de placa se colocará una termocupla en el centro geométrico de la misma soldada por debajo, de manera que no esté simetida a sol directo. Las mediciones en la olla, se deberán hacer con dos termocuplas una de ellas colocada de manera que la juntura quede 1 cm por debajo de la superficie de líquido y la otra cuya juntura quede 1 cm por encima del fondo, promediando los valores obtenidos de cada una. La termocupla se debe proteger en su camino hacia el sistema de adquisición con una manga de las temperaturas elevadas y de las dobladuras que la podrían cortar. Si es necesario efectuar una perforación y sellar convenientemente con sellador de silicona.

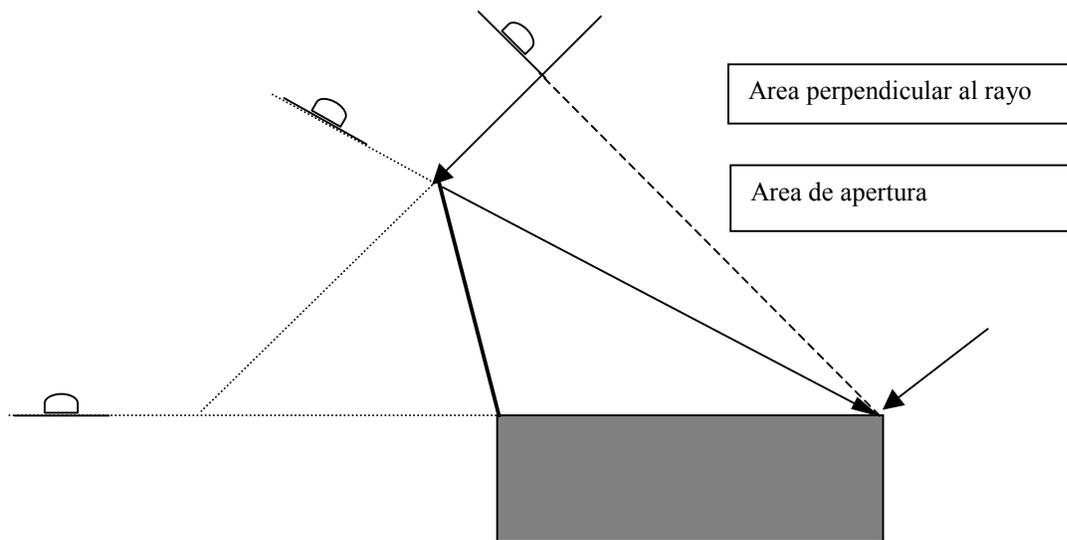
ENSAYOS A REALIZAR

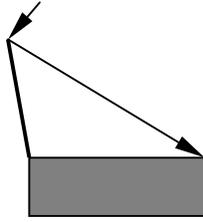
1) Medición de la superficie proyectada sobre el plano horizontal.

Este ensayo se deberá comenzar al mediodía solar (12 hr. Solar) del día anterior a realizar los ensayos para determinar al mediodía solar la superficie proyectada sobre el plano horizontal de la cocina con el reflector abierto en la posición óptima a esta hora. Ver el esquema 1.



Superficie horizontal proyectada: $a \cdot b$
Observe que:
"a" coincide con el ancho del horno.
"b" se mide en el plano del vidrio del horno o si el vidrio está inclinado, en el plano horizontal que incluye al punto del vidrio más cercano al Ecuador y además incluye a la sombra proyectada del reflector.





La posición óptima del reflector será aquella cuyo rayo reflejado desde el punto más cercano al borde del mismo, incida sobre el vidrio en su punto más cercano al Ecuador. Ver esquema 2:

Se trata de evaluar la energía que ingresa al sistema. Lo ideal es considerar el área de apertura que es perpendicular al rayo en todo momento y considerar además la radiación solar en el mismo plano. Esto tiene sus dificultades en figuras más irregulares. Por lo tanto se propone una aproximación, es decir, multiplicar la radiación medida sobre el plano horizontal (que será menor que aquella) por la superficie de apertura proyectada sobre el mismo plano horizontal.

2) Medición de la temperatura máxima sin carga y obtención de F1

Comenzar a las 10 hr. Solar se reorienta la cocina cada 15 minutos, tratando de alcanzar la temperatura máxima que se dará cerca de las 12 hr. Solar. Se debe registrar la temperatura de placa, la temperatura del aire y la

El primer factor de mérito F1 se calcula de la siguiente manera:

Primer factor de mérito F_1 : tiene en cuenta la relación entre la eficiencia óptica de la cocina y las pérdidas de calor al exterior desde la placa. El balance de calor sobre el sistema indica que:

$$\eta_0 A_v I_v = A_p U_L (T_p - T_a)$$

$$F_1 = \frac{\eta_0 A_p (T_p - T_a)}{U_L A_{ph} I_h}$$

donde:

η_0 = eficiencia óptica.

U_L = coeficiente de pérdidas ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

A_p = área de la placa absorbente (m^2).

A_{ph} = área de la superficie proyectada sobre el plano horizontal (ver paso 1)

I_h = radiación solar global sobre la superficie horizontal (W/m^2).

T_p = temperatura de la placa ($^\circ C$).

T_a = temperatura ambiente ($^\circ C$).

3) Calentamiento de agua

En este ensayo se determina el tiempo requerido para alcanzar los $80^\circ C$, la potencia, el segundo factor de mérito F2, el tiempo que mantiene la temperatura de ebullición sin intervención y el tiempo que mantiene temperaturas por encima de $80^\circ C$ sin intervención.

Los pasos son los siguientes:

- 1) El ensayo comienza a las 10 hrs.
- 2) Se carga en la olla la cantidad de agua requerida ($7 \text{ kg}/m^2$ de superficie proyectada horizontal corregida (Esteves et al, 2000).
- 3) Se coloca la olla en la cocina y se orienta la misma hacia el sol, colocando el reflector en la posición óptima para el mediodía solar, es decir, en la posición que tenía en el momento de medir la superficie proyectada horizontal
- 4) Se reorienta la cocina cada 15 a 30 minutos anotando la hora en que se realiza la misma.
- 5) Los registros se realizan cada 5 minutos.
- 6) Una vez alcanzada la temperatura de ebullición, se gira el horno hacia una posición óptima para una hora posterior y se deja sin intervenir en lo sucesivo. Se determina el tiempo máximo que mantiene la temperatura de ebullición.

- 7) Cuando la temperatura baja de la temperatura de ebullición menos 3°C, se tapa el horno y se mantienen los registros de manera de determinar el tiempo que mantiene la temperatura del agua por encima de 80°C.

El ensayo anterior debe realizarse también iniciando la prueba con la cocina orientada hacia el mediodía solar, sin reorientar la misma. Este ensayo termina cuando la temperatura del agua alcanza la ebullición.

TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

Potencia de Cocción Efectiva.

La figura mejor representativa del rendimiento térmico es la potencia de cocción efectiva, la cual se explica tanto para cocinas de diferentes tamaños como para diferentes tasas de ganancia de calor. La unidad de potencia con la cual la mayoría de las personas están familiarizadas es el Watt. La influencia de las condiciones de los ensayos han demostrado que pueden ser minimizadas si las variables que no pueden serlo, se mantienen en determinados rangos. Por lo tanto, recomendamos seguir el procedimiento descripto a continuación:

Calculo de la potencia de cocción: la diferencia en la temperatura del agua cada intervalo de 5 minutos debe multiplicarse por la masa y el calor específico del agua contenido en la olla en el intervalo de 40°C a 90°C. Dividir el producto por los 300 segundos contenidos en los 5 minutos dando la potencia de cocción en W. La razón de esto es que las cocinas solares deben calentar el alimento y una ganancia de calor sensible en la olla es la mejor medida de la capacidad de la cocina para calentar el alimento. Calcular los promedios de la radiación, temperatura ambiente, y temperatura del contenido del aliemntno para cada intervalo.

Standarización de la potencia de cocción: la potencia de cocción para cada intervalo debe ser corregida para una radiación solar standard de 700 W/m² multiplicando la potencia observada por 700 W/m² y dividiendo por la radiación promedio registrada durante el correspondiente intervalo. La razón es ayudar a la comparación de resultados de diferentes localidades y fechas.

Diferencia de temperatura: se calcula la diferencia de temperatura entre la olla y el ambiente para cada intervalo. La razón es que las pérdidas de calor se incrementan con la diferencia de entre la temperatura interior de la cocina y su medioambiente inmediato.

Graficación: se grafica la potencia standard de cocción contra la diferencia de temperatura para cada intervalo de tiempo.

Regresión: se realiza una regresión lineal de los puntos graficados para encontrar la relación entre la potencia de la cocina y la diferencia de temperatura. Al menos se necesitan 30 observaciones. La razón es que las medidas estadísticas mejoran el ajuste mientras mayor es la muestra y el error sistemático es probablemente menor al ser repetido en diferentes días. Errores experimentales excesivos pueden invalidar el ensayo. Se calcula el coeficiente de correlación (R^2) que debería ser mejor que 0.85 o si es mas bajo, debería indicarse.

Simple medida de rendimiento: el valor para la cocción standard (W) correspondiente a una diferencia de temperatura de 50°C, puede ser tomado como una medida simple de la performance. La razón es que un simple número facilita mas la comparación entre diferentes cocinas y esta diferencia de temperatura representa una temperatura de olla justo debajo de la temperatura crítica a partir de la cual la cocción comienza a ocurrir, la temperatura cuando una cocina solar funciona bien o falla.

Informe: grafique la relación entre la potencia de cocción standarizada (desde 0 a 200 W) contra la diferencia de temperatura (de 0 a 70°C) y presente la ecuación. Se determina luego la potencia de cocción (estandarizada) a la diferencia de temperatura de 50°C.

SEGUNDO FACTOR DE MÉRITO F2

Segundo factor de mérito. Tiene en cuenta la eficiencia en la transferencia de calor hacia el recipiente. Su cálculo queda determinado como se indica a continuación:

$$d\tau = (Mc)'_w \, dT_w / A_{ph} F' [\eta_0 I_h - U_L (A_p / A_{ph}) (T_w - T_a)]$$

$$\text{pero: } F_1 = \eta_0 / U_L$$

$$\text{por tanto: } d\tau = (Mc)'_w \, dT_w / A_{ph} F' \eta_0 [I_h - U_L (A_p / A_{ph} F_1) (T_w - T_a)]$$

integrando entre T_{w1} y T_{w2} :

$$\tau = [-F_1 (Mc)'_w / A_{ph} F' \eta_0 \ln \{ [I_h - (A_p / A_{ph} F_1)(T_{w2} - T_a)] / [I_h - (A_p / A_{ph} F_1)(T_{w1} - T_a)] \}]$$

$$\text{se define } C_r = (Mc)'_w / (Mc)'_w$$

de modo que:

$$F_2 = F' \eta_0 C_r = \frac{F_1 (Mc)_w}{\tau A_{ph}} \ln \frac{I_h (A_p/A_{ph} F_1) (T_{w1} - T_a)}{I_h (A_p/A_{ph} F_1) (T_{w2} - T_a)}$$

donde:

F' = factor de eficiencia de intercambio de calor.

η_0 = eficiencia óptica.

F_1 = primer factor de mérito.

$(Mc)_w$ = Capacidad calorífica de todo el sistema (agua, ollas e interior de la cocina).

$(Mc)_w$ = Capacidad calorífica del agua solamente.

τ = intervalo de tiempo entre T_{w1} y T_{w2} .

I_h = radiación solar sobre la superficie horizontal.

A_{ph} = área de la superficie horizontal proyectada.

A_p = área de la placa absorbente.

T_{w1} = temperatura inicial del agua.

T_{w2} = temperatura final del agua.

T_a = temperatura ambiente.

Con los datos obtenidos se llenará la ficha que acompaña las normas y que una muestra aparece en el Anexo I.

ABSTRACT

In this paper adjustment to standard of solar cooking testing for obtain its thermal performance it is presented. This adjustments has been made in order to obtain more simplicity, to reduce the quantity of test and finally to obtain more convenient tests in thermal performance determination of solar cooking. It is included a form model in order to fill all data of solar cooking and result of thermal test that has been obtained.

REFERENCIAS

Funk Paul A. (2000). "Evaluating the international estándar procedure for testing solar cookers and reporting performance". *SOLAR ENERGY* Vol. 68, N° 1, pp. 1-7 2000.

Castel M.E., Pastrana, Collares Pereira M., Esteves A. (2000). "Protocolo De Coccion Solar De Ricsa. Apreciaciones Respecto De La Determinacion De La Energia Y La Carga Para Determinar La Potencia Efectiva De Cocción". *Enviado a Avances de Energías Renovables y Medio Ambiente*.

ANEXO I - FICHA PARA LLENAR CON LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

1- Descripción física de la cocina

NOMBRE O MODELO: HORNO CON VIDRIO INCLINADO

Tipo de Cocina Solar	HORNO
Superficie de cubierta vidriada [m ²]	0.355 * 0.47 = 0.16685 m ²
Area de reflectores [m ²]	0.7948 m ²
Angulo de Altitud solar para el día del ensayo a las 12 hrs.	43°
Superficie proyectada horizontal [m ²]	0.5382 m ²
Superficie corregida por coseno de altitud solar [m ²]	0.3934 m ²
Superficie de placa absorbedora [m ²]	0.34 x 0.36 = 0.1224 m ²
Peso [kg]	14,5 kg
Volumen interior [m ³] (útil para hornear)	(0.10+0.24)/2 x 0.34x0.36= 0.021 m ³
Dimensiones en posición de operación (ancho, alto y profundidad)	0.58 m x 0.84 m x 0.84 m
Dimensiones en posición de tralado	0.58 m x 0.31 m x 0.63 m
Número de ollas y volumen [m ³]	1 de 6 litros
Tipo de ollas (fijas o removibles)	Removibles
Las ollas se proveen con la cocina o no	No
Calentamiento auxiliar, tipo y potencia	No
Control de potencia del elemento calefactor	No

Otros usos: secadero, esterilización de agua, etc.

No

(*) La proyección deberá hacerse sobre la superficie horizontal cuando el sol se encuentra a las 12:00 hrs, es decir, cuando atraviesa el meridiano del lugar.

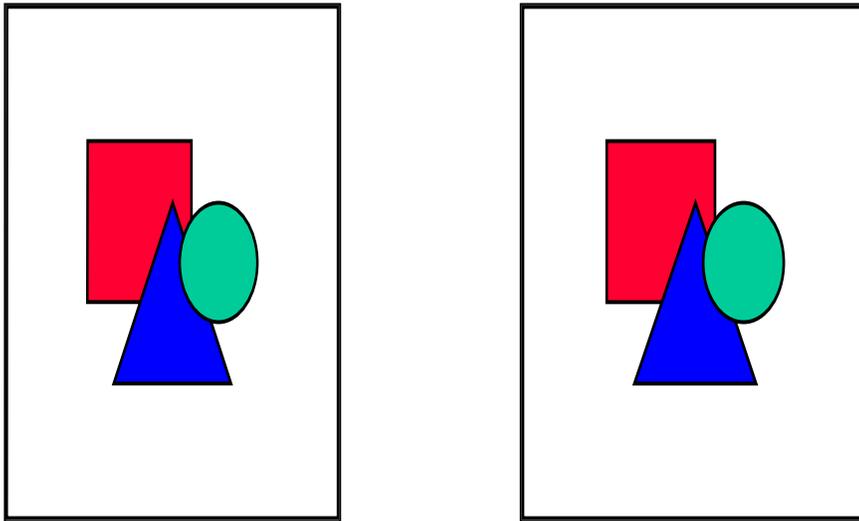


Figura 1: fotos de la cocina solar ensayada

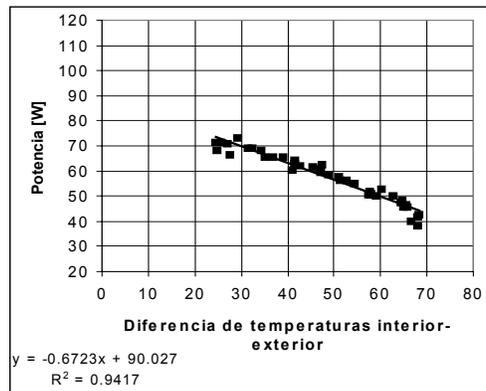
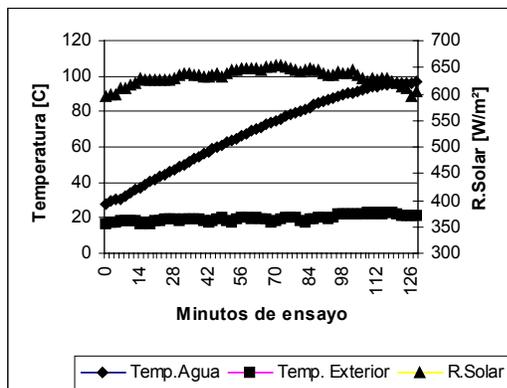
3. Ensayos Térmicos

3.1 Tiempo de calentamiento de Agua

Rango de Temperaturas Exteriores durante el ensayo: 16.9 - 26.6 °C Temperatura de comienzo: 27.7 °C

Rango de Radiación Solar durante el ensayo: 254 - 655 W/m² - Fracción de Radiación Difusa: 0.22

Rango de velocidades de viento durante el ensayo: < 2 m/seg



Tiempo en alcanzar los 80°C con reorient.: 80' Tiempo en alcanzar los 90°C: 100'
Tiempo que mantiene la temperatura de ebullición: 192' Tiempo que mantiene los 80° sin intervención: 282'
Potencia para 50°C con reorientación: 56.41 W

Factores de mérito:

F1: $(0.1224 * (151.8 - 15.2)) / (0.5382 * (8.50/0.01209)) = 0.044$

F2: $0.1697 * \ln(521.68/263.39) = 0.1159$

Nota: Se debe adjuntar además la curva de calentamiento sin intervención. Aquí no se incluye por cuestión de espacio.