

PROPUESTAS DE PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO TERMICO DE COCINAS Y HORNOS SOLARES

María Emilia de Castell¹, Adolfo Finck Pastrana², Manuel Collares Pereira³,
Lisandro Vázquez⁴, Alfredo Esteves⁵

¹Instituto Nacional de Tecnología y Normalización, Asunción, Paraguay

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

³Departamento de Energías Renováveis INETI, Lisboa, Portugal

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

⁵Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (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

Durante la segunda reunión de la Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos (RICSAs), financiada por el CYTED y realizada en Heredia, Costa Rica, se ha definido una propuesta de procedimiento para la evaluación de cocinas y hornos solares. La evaluación de las mismas se realiza en dos partes, por un lado, las condiciones de ergometría, seguridad, calidad de materiales y mantenimiento y por otro las condiciones térmicas. En este trabajo se presenta el protocolo de los ensayos para evaluar el comportamiento térmico de las cocinas y hornos solares de manera de someterlas a discusión con vistas a realizar una propuesta de normativa.

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LOS ENSAYOS TÉRMICOS

Tratamiento de variables que no es posible controlar:

Viento: los ensayos de cocinas solares deberían realizarse con velocidades de viento menores a 1.0 m/s a la altura de las cocinas solares que están siendo testeadas. Si el viento está por sobre 2.5 m/s durante mas 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 una protección adecuada para reducir la velocidad del viento sobre las cocinas, teniendo en cuenta que no entorpezca la radiación incidente sobre los mismos.

Temperatura ambiente: realizar el ensayo con temperaturas ambientes entre 15°C y 35°C. La potencia de cocción está influenciada por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. 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.

Tratamiento de variables que es posible controlar

Carga: la cocina debe cargarse con 6 kg de agua por cada m² de área colectora. Esta área se define como la suma de las áreas del reflector y de apertura proyectadas en el plano perpendicular a la radiación directa. La razón es que el agua se asemeja a la mayoría de los alimentos en densidad y en calor específico, pero es más consistente. La radiación interceptada es la mejor medida de la energía disponible. Este valor particular es cercano a los distintos valores citados en las publicaciones previas.

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 sometida 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. De

este modo se tiene en cuenta la estratificación. El cable debe ingresar a la olla por el costado a través de una perforación (nunca levantando la tapa), sellando luego con sellador de siliconas. 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.

ENSAYO 1

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. Se determina colocando la cocina solar sin carga al sol. La misma se va calentando hasta que la placa absorbidora alcanza su temperatura máxima. En ese momento se cumple:

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

$$F_1 = \eta_0 / U_L = A_p (T_p - T_a) / A_v I_v \quad [1]$$

donde:

η_0 = eficiencia óptica.

U_L = coeficiente de pérdidas.

A_p = área de la placa absorbente.

A_v = área de la superficie transparente.

I_v = radiación solar sobre la superficie transparente.

T_p = temperatura de la placa.

T_a = temperatura ambiente.

Modalidades de ensayo:

- 1- Sin mover la cocina, es decir, orientándola hacia el Ecuador y dejándola que la temperatura de placa alcance su valor máximo al mediodía solar.
- 2- Reorientando la cocina cada 15 minutos máximo tratando de alcanzar la temperatura máxima mas rápidamente. Anotar en el momento de máxima temperatura alcanzada la temperatura de placa, la temperatura ambiente, la radiación solar en todo de acuerdo con las especificaciones indicadas anteriormente.

Se calcula el valor de F_1 a partir de la expresión [1].

ENSAYO 2

1) Tiempo de calentamiento. Inicio en caliente (Agua)

- La cocina debe precalentarse 2 horas comenzando a las 09:00 hrs.
- Las ollas deben llenarse con agua a 40°C, y con 6 litros por cada metro cuadrado de apertura.
- La experiencia comienza a las 11:00 hrs.
- El primer resultado importante es el tiempo que tarda el agua en alcanzar los 80°C.
- El segundo resultado importante es el tiempo que tarda el agua en alcanzar el punto de ebullición, que depende de la altitud del lugar.
- La prueba debe interrumpirse a las 13:00 hrs.
- Se construye la gráfica de Temperatura vs. tiempo a fin de efectuar comparaciones.

ENSAYO 3

No intervención del usuario

- El objetivo de esta prueba es determinar cuanto tiempo puede la cocina funcionar adecuadamente sin la intervención del usuario.
- Inmediatamente después de concluir con el ensayo 2, alrededor de las 13:00 hrs., la cocina debe orientarse directamente hacia el sol en una posición óptima de insolación, dejándola en esa posición sin reorientarla más.
- El resultado de la prueba es el tiempo que la cocina mantiene la temperatura del agua por encima de los 80°C sin la intervención del usuario.

Los ensayos anteriores deben efectuarse nuevamente sin precalentar la cocina y, posteriormente, repetir ambas experiencias utilizando aceite de girasol como fluido de trabajo. Los resultados deben presentarse en forma matricial a fin de poder comparar varios sistemas de cocción solar tan sólo observando columnas o renglones.

SEGUNDO FACTOR DE MÉRITO

Tiene en cuenta la eficiencia en la transferencia de calor hacia el recipiente. Se denomina F_2 y se calcula a partir de los datos relevado en el ENSAYO 2. El tiempo requerido parra un aumento infinitesimal dT_w del agua, puede evaluarse asumiendo condiciones cuasi-estacionarias por la siguiente ecuación:

$$d\tau = (Mc)'_w dT_w / A_v F' [\eta_0 I_v - U_L (A_p / A_v) (T_w - T_a)] \quad ; \text{pero: } F_1 = \eta_0 / U_L$$

por tanto:

$$d\tau = (Mc)'_w dT_w / A_v F' \eta_0 [I_v - U_L (A_p / A_v F_1) (T_w - T_a)]$$

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

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

se define $C_r = (Mc)_w / (Mc)'_w$

de modo que:

$$F_2 = F' \eta_0 C_r = [F_1 (Mc)_w / A_v \tau] \ln \{ [I_v - (A_p / A_v F_1)(T_{w1} - T_a)] / [I_v - (A_p / A_v F_1)(T_{w2} - T_a)] \} \quad [2]$$

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 y la olla.

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

I_v = radiación solar sobre la superficie transparente.

A_v = área de la superficie transparente.

A_p = área de la placa absorbente.

T_{w1} = temperatura inicial del agua.

T_{w2} = temperatura final del agua.

T_a = temperatura ambiente.

Para determinarlo, se considera a T_{w1} como 65°C, T_{w2} 90°C (Mullick, 1996), la radiación solar sobre la superficie transparente I_v , se toma promediando los valores en el intervalo de tiempo τ . La temperatura ambiente debe también ser promediada en el mismo intervalo. Se determina luego el valor de F_2 a partir de la expresión [2].

POTENCIA DE COCCIÓN EFECTIVA

La potencia de cocción efectiva se determina a partir de los datos del ENSAYO2. 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 descrito a continuación:

Temperatura de la olla: los datos registrados para la temperatura del agua deberían estar entre 40°C y 90°C. La razón del límite mínimo es que la olla debería tener una temperatura por encima de la temperatura ambiente del aire y el máximo es porque la temperatura de ebullición varía con la altitud y el calor latente de vaporización rápidamente disminuye la potencia de cocción a medida que la temperatura se acerca a la ebullición. Alejándose del límite superior se reduce la probabilidad de tener anomalías en los datos.

Radiación Solar: la radiación solar debe medirse en el plano perpendicular a la radiación solar directa (la máxima lectura) utilizando un piranómetro. Se deberá tratar de tener radiación solar mayor de 700 W/m² en el plano del colector. La fracción difusa no debe superar el 20%.

Altitud solar y acimut solar: el comité recomienda fuertemente que los tests sean conducidos entre las 10 y las 14 hrs solar. La razón es que el ángulo cenital es prácticamente constante cerca del mediodía, y la diferencia entre la radiación medida en el plano de la apertura de la cocina y el plano perpendicular a la radiación solar directa variará menos. Las

excepciones derivadas de la variabilidad solar dado por la presencia de nubes en el mediodía de la estación monsonica o de la temperatura ambiente que es muy alta, deben indicarse especialmente.

Registro: la temperatura promedio del líquido de todas las ollas ubicadas en la cocina, la radiación solar (W/m^2) y la temperatura ambiente, debe registrarse, por lo menos, cada 10 minutos. Las temperaturas, si es posible, con una precisión de un décimo de grado. Se deberá registrar la frecuencia de reorientación y el ángulo azimutal durante el test. Registrar la latitud y la fecha del ensayo.

Calculo de la potencia de cocción: la diferencia en la temperatura del agua en cada intervalo de tiempo se multiplica por la masa y el calor específico del agua contenido en la olla para determinar la energía absorbida en ese intervalo. Dividir el producto obtenido por el tiempo de cada intervalo en segundos para obtener la potencia de cocción en vatios. 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. Se calculan luego, los promedios de la radiación, temperatura ambiente, y temperatura del agua para cada intervalo.

Standardización de la potencia de cocción: la potencia de cocción debe ser corregida para una radiación solar standard de $700 W/m^2$ multiplicando la potencia observada por $700 W/m^2$ y dividiendo por la radiación promedio registrada durante el correspondiente intervalo. El sentido de esto es homogeneizar los resultados para la posibilidad de comparación entre los obtenidos en diferentes localidades y fechas.

Diferencia de temperatura: se calcula la diferencia de temperatura entre la olla y el ambiente para cada intervalo.

RESULTADOS

1- Graficación: grafique la relación entre la potencia de cocción standardizada (desde 0 a 200 W) contra la diferencia de temperatura (de 0 a $70^{\circ}C$).

2- 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 mayor que 0.85 o si es mas bajo, debería indicarse.

3- Simple medida de rendimiento: el valor para la cocción standard (W) correspondiente a una diferencia de temperatura de $50^{\circ}C$, 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, es decir, la temperatura a partir de la cual, una cocina solar funciona bien o falla.

BIBLIOGRAFIA

- Funk P.A., Larson "Parametric Model of Solar Cooker Performance" Solar Energy V 62, N° 1, pp. 63-68, 1998.
- Khalifa A.M.A., Taha M.M.A., Akyurt M. "Design, Simulation and Testing of a New Concentrating Type Solar Cooker". Solar Energy Vol. 38, N° 2, pp. 79-88, 1987.
- Channiwala S.A., Doshi N.I. "Heat Loss Coefficients for Box-Type Solar Cookers". Solar Energy Vol. 42, N° 6, pp 495-501, 1989.
- P. Funk "New Standard Procedure for Testing Solar Cookers", Sunworld Vol. 22, N° 2, June 1998.
- Mullick S.C., Kandpal T.C., Kumar S. "Thermal test Procedure for a Paraboloid Concentrator Solar Cooker". Solar Energy Vol. 46, N° 3, pp. 139-144, 1991.
- Grupp M., Merkle T., Sodeik M., 1993. "Solar Cooker Test Procedure". Version 2. ECSCR.. Nov. 1993.
- Grupp M., Merkle T., Sodeik M. "Second International Solar Cooker Test", ECSCR, June 1994.