

Evaluación del comportamiento térmico de cocinas solares tipo panel en condiciones ambientales de la costa Caribe colombiana

Thermal behavior evaluation of panel-type solar cookers in colombian Caribbean coast environmental conditions

Luis E. Mealla¹, Julián D. Morales², Javier A. Naranjo², Jessica P. Pacheco²,
Jesús D. Redondo², Daniela P. Zuluaga²

¹Ms(c), Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia.

²Grupo de Investigación en Energías Alternativas, Universidad Autónoma del Caribe.
Barranquilla, Colombia.

E-mail: luis.mealla@uac.edu.co

Recibido 28/11/14,
Aceptado 27/05/2015

Cite this article as: L. Mealla, J. Morales, J. Naranjo, J. Pacheco, J. Redondo, D. Zuluaga, "Thermal behavior evaluation of panel-type solar cookers in colombian Caribbean coast environmental conditions", *Prospect*, Vol 13, N° 2, 72-80, 2015.

RESUMEN

Existen sectores de población que no pueden acceder a servicios de gas y electricidad por lo que recurren al uso de leña y carbón para la cocción de alimentos, generando impactos negativos en el ambiente. A causa de esto se ofrecen alternativas viables para mitigar esta problemática, aprovechando la energía solar como fuente de calor. El uso de cocinas solares de baja potencia en población de escasos recursos es muy difundido, aunque se desconoce su comportamiento térmico desde el punto de vista técnico. Este trabajo presenta una propuesta de cómo realizar los ensayos basada en protocolos internacionales de evaluación del comportamiento térmico de cocinas solares y presentar los resultados del ajuste lineal de dos variables que surgen del balance energético. Se seleccionaron los prototipos de cocinas solares a evaluar y los elementos adecuados para su construcción, utilizando materiales reciclables, como cartón y papel aluminio. Los datos recolectados y analizados, arrojaron diferentes comportamientos expresados mediante gráficas y tablas, en las cuales se analizaron las eficiencias presentadas por los diferentes modelos. En ellas se pudo observar un mejor comportamiento térmico en cocinas tipo "fun panel".

Palabras clave: Cocina solar; Comportamiento térmico; Protocolo de ensayo.

ABSTRACT

An important part of the population does not have access to public services such as gas and electricity. their main source of energy is coal and wood, particularly for cooking, with negative impacts on environment. It is possible to explore alternatives to mitigate these impacts, such as the use of solar energy. The use of low power solar cookers by poor people is widespread, but from the technical point of view, their thermal behavior is not known. This paper presents a proposal to how to perform the tests based on international protocols evaluation of the thermal performance of solar cookers and submit the results of the linear fit of two variables that arise from the energy balance. First, we selected for evaluation many kinds of solar cookers, taking into consideration important aspects such as building materials of their components, such as cardboard and aluminum. Results from the data analysis show the difference in thermal behavior between different prototypes and models analyzed. The best thermal performance in our analysis is presented by "fun panel" cooker.

Keywords: Solar cooker; Thermal performance; Test protocol.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de energías alternativas para usos domésticos se presenta como opción para mitigar problemáticas de tipo social y ambiental [1].

Diversos intentos se han realizado para promover este tipo de estrategias, con el fin de que se masifique el uso de la cocción solar [2]. El costo muchas veces es un impedimento para la adopción de determinados artefactos que cumplan con la función de cocinar alimentos o calentar agua. Las expectativas de potencia y tiempo de cocción, comparadas con los medios convencionales también atentan contra este tipo de metodologías. Por eso se hace necesario evaluar estos dos aspectos desde el punto de vista técnico para poder tener una respuesta en el momento de ofrecer elementos de bajo costo como alternativa a los métodos convencionales a los potenciales usuarios.

Las cocinas tipo panel, han sido difundidas ampliamente en países emergentes en todo el mundo [2, 3]. En principio, revisando la literatura, se observan esfuerzos para medir el desempeño térmico de determinado tipo de cocinas solares, pero estos solo apuntan a modelos en donde la potencia térmica es considerable [4, 5]. No se ha podido encontrar referencias acerca de mediciones de comportamiento térmico específicamente en cocinas tipo panel, sino más bien se privilegia cocinas del tipo caja o concentradores[6].

Los protocolos de prueba para evaluar este tipo de cocinas no son concluyentes ni se ha tomado uno en particular para adoptarlo a nivel global, pues hay diferencias de criterio respecto a la forma en que se evalúa el comportamiento térmico y como se muestran los resultados [7]. El presente artículo propone una metodología de medición sencilla basada en distintos protocolos para evaluar el comportamiento térmico de un conjunto de cocinas cuya potencia térmica útil es reducida y que se utilizan en aplicaciones destinadas a sectores de bajos ingresos.

En décadas precedentes se ha probado fuentes de energías alternativas con el fin de minimizar y hasta revertir el impacto ambiental. Una de las alternativas es la energía térmica solar, la cual si se concentra de manera adecuada, puede presentar temperaturas ideales para procesos donde se ve involucrado el calor como fuente principal de energía, dentro de los cuales se destaca la cocción de alimentos, la pasteurización del agua y la esterilización de material quirúrgico [8].

Para la cocción de alimentos, la leña y el carbón son los principales recursos utilizados en este tipo de actividad correspondiendo en su uso al 27.8% y 3.6%, respectivamente, al consumo energético en Colombia a nivel residencial, como se puede apreciar claramente en la figura 1. Estas fuentes suelen ser bastante eficientes, debido al

aprovechamiento de su combustión, en el proceso de transferencia de calor para lograr la cocción; sin embargo, se ignoran los problemas que puede acarrear el uso frecuente de este tipo de energías tanto a nivel personal, como problemas respiratorios y, a nivel global, el impacto ambiental generado por los gases residuales producto de la combustión, quienes hacen parte del grupo de gases que ocasionan el efecto invernadero. Este último más la tala indiscriminada, produce fuertes cambios ambientales, dando lugar a procesos serios de desertificación[9].

Para contrarrestar los efectos adversos producidos por el uso desmedido de fuentes de energía convencional, se ofrece remediar con el uso de tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar como concentradores, cajas aisladas y colectores planos, que captan y aprovechan la radiación solar eficientemente logrando la cocción de alimentos de una manera limpia, segura y amigable con el medio ambiente.

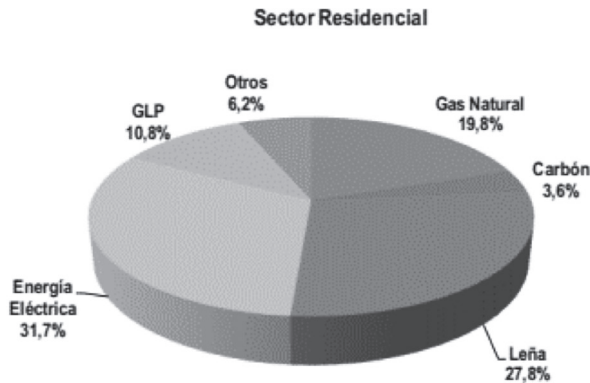
Colombia por su ubicación geográfica, tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario anual cercano a 4,5 kWh/m² (destacándose la península de La Guajira, con un valor 6,0 kWh/m²). Una aproximación a la disponibilidad promedio anual de energía solar en la Costa Atlántica es de 1.825 kWh/m²/año. No obstante, este tipo de tecnología contribuye a mitigar parte de esta problemática pero no a solucionarla en su totalidad, debido a que se cuenta con una temporada de lluvia donde la energía solar no se puede aprovechar de la mejor manera, pues presenta una frecuencia de 50 a 100 días lluviosos distribuidos en dos épocas: de mayo a junio y de agosto a noviembre [10, 11].

Por otra parte, existen al menos tres protocolos de evaluación de comportamiento térmico que aparecen en la literatura y que dependen de las condiciones ambientales y la ubicación del sitio de pruebas. El primero es el propuesto por American Society of Agricultural Engineers Standard ASAE S580 [12], propuesto por P. Funk en 1997 en la "ThirdWorld Conference on Solar Cooking" como solución a la necesidad de contar con un estándar internacional para evaluar el comportamiento térmico de una cocina solar [13]. Se recomienda presentar los resultados en forma de potencia de cocción expresada en W los cuales deben ser normalizados a las condiciones ambiente en función de la diferencia de temperaturas entre el agua en el recipiente (pintado de negro) y el ambiente y deben ser presentados con no más de treinta observaciones por gráfico para tres días consecutivos. La forma de realizar las pruebas están enmarcadas en valores específicos de las variables controlables tales como masa de agua utilizada como carga térmica en el recipiente (7 kg por unidad de área proyectada, la última debe ser medida durante el medio día solar), el seguimiento de manera que siempre se asegure que se está recibiendo máxima radiación solar sobre el plano de la cocina y el tiempo de intervalo de toma de datos (durante 10 minutos) para tener al menos

30 datos por prueba. La temperatura en el recipiente se debe medir en el centro, 10 mm por debajo de la superficie de líquido, con termocuplas debidamente aisladas. No debe existir pérdida de masa por vaporización en el recipiente.

Figura 1. Consumo de energía del sector residencial, año 2009.

Figure 1. Energy use in the residential sector, 2009.



Las variables no controladas en su mayoría meteorológicas, tales como, la velocidad de viento que debe ser inferior a 1 m/s para realizar las pruebas, se pueden realizar hasta un valor máximo de 2.5 m/s, si el valor de la velocidad del viento sobrepasa ese valor por más de 10 min se debe descartar la prueba. Se recomienda en caso extremo utilizar cobertura contra en viento. La temperatura del agua durante el ensayo debe estar 5°C por encima de la temperatura ambiente y 5°C por debajo de la temperatura de ebullición. En cuanto a la radiación solar, se debe sensar con un solarímetro para medir la radiación normal de incidencia al plano de la cocina. El calor de radiación aconsejable va entre 450 y 1100 W/m² para no descartar el ensayo. Se aconseja descartar las pruebas si en 10 min hay variaciones de radiación de 100 W/m², de manera que el ensayo se haga en día claro. En cuanto al tiempo del ensayo se aconseja que se hagan entre las 10 y las 14 horas medidas en tiempo solar de manera que el ángulo cenital permanezca constante y que no haya una reorientación frecuente de la cocina por la variación del ángulo azimutal. El cálculo de la potencia de cocción tiene en cuenta la variación de temperatura en 10 min, la masa de agua depositada, el calor específico del agua y el tiempo en segundos equivalente, como se presentan en la ecuación 1.

$$P = \frac{(T_2 - T_1)mc_p}{600} (1)$$

La potencia de cocción, que se presenta en la ecuación 2, se debe normalizar respecto a un valor de radiación propuesto de 700 W/m² y la radiación promedio del intervalo de medición.

$$P_s = P \left(\frac{700}{I} \right) \quad (2)$$

Se recomienda presentar la información con una gráfica entre el potencia de cocción estandarizada versus la diferencia de temperatura entre la temperatura del agua y la temperatura ambiente. Se debe realizar una regresión lineal, el coeficiente de ajuste r² debe ser mayor a 0.75. Se debe identificar como valor representativo el valor de potencia para un valor de diferencia de temperatura de 50°C (P_s*=P_s(50)). Se puede encontrar en la literatura casos en los que se aplica este protocolo a distintos modelos de cocinas solares de alta potencia de cocción [14, 15, 16].

La norma hindú [17] para pruebas de cocinas solares, propuesto por Mullick et al. 1987 [18], solo hace hincapié en la evaluación de cocinas solares tipo caja (box solar cookers). Sugiere calcular dos figuras de mérito, la primera (relación entre la eficiencia óptica y el coeficiente global de pérdida) en función de la temperatura de placa absorbadora (temperatura de estagnación), la temperatura ambiente y la radiación horizontal medida en el tiempo en que la temperatura de estagnación se ha tomada (ecuación 3). Este tipo de prueba preliminar debe ser realizada sin líquido (prueba en vacío).

$$F_1 = \frac{T_p - T_a}{H_s} \quad (3)$$

La ecuación 4 permite calcular la segunda figura de mérito se aconseja utilizar 8 litros de agua por m² de apertura de la cocina depositada en recipientes pintados de negro, la radiación debe superar los 600 W/m² y se deben sensar cada cinco minutos las temperaturas de agua, ambiente y la velocidad de viento. Se tiene en cuenta las temperaturas en los extremos del intervalo de medida, la radiación promedio en el intervalo, el producto masa-capacidad térmica específica del agua, el área de apertura y el primer factor de mérito.

$$F_2 = \frac{F_1(mc_p)}{A\Delta t} \ln \left[\frac{1 - \left(\frac{T_1 - T_a}{F_1 G} \right)}{1 - \left(\frac{T_2 - T_a}{F_1 G} \right)} \right] \quad (4)$$

Conocidos los dos factores de mérito, con las ecuaciones 5 y 6, se calcula el tiempo de ebullición estándar de la siguiente manera.

$$t_e = \frac{-F_1(mc_p)}{60F_2 A} \ln \left(1 - \frac{X}{F_1} \right) \quad (5)$$

Donde

$$X = (100 - T_a)/G \quad (6)$$

Se debe representar el tiempo de ebullición estándar en función de la variable X, pues se debe esperar tiempos de ebullición dentro del rango de la curva que se muestra.

El estándar de la Comisión Europea (European Committee on Solar Cooking Research (ECSCR)) [19] hace énfasis en la funcionalidad de la cocina solar. Aspectos tales como la seguridad, la durabilidad y el acceso a la olla son resaltados en ella. Sugiere tener en cuenta un examen más exhaustivo aumentando la cantidad de datos colectados y la referencia a los datos de construcción de la cocina. El protocolo indica que se debe realizar primero con el prototipo lo que llama "prueba estándar" que debe reunir características del tipo: precalentar el agua a 40°C antes de introducirla en la cocina del ensayo, este debe realizarse entre la 11 y las 13 de tiempo solar. Se debe orientar al sol la cocina y dejarla en esa posición hasta que el líquido alcance los 80°C, el tiempo de este acontecimiento es un buen indicador de la eficiencia de la cocina. Se repite lo mismo pero con aceite como líquido de prueba hasta que alcance los 100°C. Se repiten las pruebas con ambos líquidos sin precalentar, midiendo el tiempo en que se enfrían una vez que sobrepasan la temperatura de cocción mínima hasta los 80°C, se repiten las pruebas reorientando las cocinas, y se mide también el tiempo de enfriamiento una vez que se ha pasado el mediodía solar.

La prueba estándar y el resto de pruebas sugerido, se debe realizar bajo condiciones meteorológicas tales que no se pueda descartar el ensayo: temperatura ambiente entre 25 y 35 °C, velocidad de viento menor que 4 m/s, radiación solar global mayor que 800 W/m² medida en el plano horizontal, fracción de radiación difusa menor al 20%. No hay un acuerdo acerca de la medición del a masa de líquido que se debe colocar en el prototipo en función del área de apertura.

Existen muchos procedimientos de tipo comparativo y menos riguroso por ejemplo las pruebas relativas [7], donde se sugiere calentar en dos cocinas distintas un litro de agua en cada una y medir su calentamiento, una de ella debe tener un comportamiento térmico conocido, esta prueba solo permite definir cuál de las dos es mejor calentador. Medir la temperatura del líquido antes que alcance el hervor, se presenta la medición del calentamiento porcentual de las cocinas.

De las pruebas absolutas sugeridas se pueden enumerar tres que caracterizan el comportamiento térmico de cocinas. La primera es la Prueba de Agua en Ebullición (WBT - Water Boiling Test) [20], es una prueba de laboratorio para medir el desempeño del prototipo para tareas sencillas como ebullición o mantener una determinada temperatura bajo condiciones controladas. Esta técnica de medir eficiencias térmicas se

aparta de las que pudiesen alcanzar en los hogares que pudiesen utilizar las cocinas.

Una segunda prueba es la denominada de Cocción Controlada (CCT - Controlled Cooking Test) [21], mide mediante pruebas de campo el desempeño de la cocina comparada con la preparación de comida utilizando combustibles locales. Está diseñado para trabajar en condiciones controladas y permite evaluar el comportamiento térmico de cocinas y de utensilios, pero que también se aparta de las condiciones reales de los potenciales usuarios.

El método de Prueba de Performance de Cocinas (KPT - Kitchen Performance Test) [22], es una prueba de campo que permite evaluar el desempeño térmico de una cocina utilizando condiciones reales. Mide el impacto del prototipo en relación con los métodos de cocción que utilizan combustibles convencionales. Es una prueba de referencia que se utiliza también para cocinas solares, ayuda a encontrar el prototipo ideal para un determinado lugar para tener un impacto positivo en el ambiente, que se asocie con otras tecnologías que utilizan combustibles limpios.

Existen muchos aportes y adaptaciones de los protocolos y métodos de prueba para evaluar el desempeño de cocinas y hornos solares. La Red Iberoamericana de Cocción Solar (RICSA) elaboró un protocolo a finales del siglo pasado [23, 24], es una adaptación de la norma hindú, pero con aportes de la norma europea y la norma americana.

S. Shaw elaboró una metodología de evaluación en su trabajo de tesis doctoral en 2008 [25]. Realizó una revisión de los protocolos de evaluación existentes, proponiendo un conjunto de pruebas que guardan relación con las tres normas existentes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se identificaron seis prototipos de cocinas solares para evaluar, según los materiales para su construcción y el grado de uso que se tiene entre la población [26]. Una tipo horno y cinco cocinas tipo panel. La cocina tipo horno genera efecto invernadero en su interior, mientras que las tipo panel se caracterizan por la orientación de sus paneles, para conseguir elevada reflexión de la radiación solar, y obtener concentración de energía en un área determinada. Para la construcción de las cocinas se utilizaron materiales reciclables, cartón debido a su alta resistencia al calor y papel aluminio por su alta reflectividad. Se construyeron ejemplares de cada una de las cocinas seleccionadas bajo los parámetros sugeridos por SCInet [26], como se observa en la figura 2. Para la construcción de cada una de ellas se utilizó pegamento vinílico diluido para adherir el papel aluminio al cartón. Este estándar sugiere tener

en cuenta tres aspectos

Figura 2. Construcción de la cocina solar “The Cook-Kit”.

Figure 2. “CookKit” construction.



2.1. Medición

El área proyectada es un factor importante utilizado para la medición de la eficiencia de las cocinas, este permite calcular la radiación total incidente en la cocina y puede deducir la cantidad de carga que puede contener cada recipiente en las pruebas térmicas. El área proyectada se define como la superficie de la sombra que refleja la cocina, orientada perpendicularmente a la dirección incidente de radiación durante el medio día solar, como se observa en la figura 3 [26].

Figura 3. Medición del área proyectada por la cocina en el medio día solar.

Figure 3. Kitchen projected area measurement at solar noon.



Para estandarizar las pruebas se calcula la cantidad de agua máxima que es capaz de calentar cada cocina regida por la ecuación(1) [7]:

$$\text{Carga} = 7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times \text{Área de la sombra proyectada} \quad (7)$$

En la ecuación 7 se toma en cuenta la recomendación de la American Society of Agricultural Engineers Standard ASAE S580 [12] y no es necesario multiplicar por el ángulo cenital, pues no hay mucha variación del área proyectada durante los ensayos [24].

2.2. Análisis térmico del sistema

Existen perturbaciones que afectan directamente al sistema las cuales no pueden ser controladas, como lo son, el viento, la radiación y la temperatura ambiente, a su vez, existen variables que pueden ser manipuladas como la carga y la reorientación de las cocinas[24].

Las pruebas se realizaron utilizando la siguiente

estrategia para uniformizar las pruebas: recipientes pintados en negro, para aprovechar al máximo la radiación, bolsas de cocción para reducir las pérdidas convectivas, precalentamiento de la masa del agua hasta los 40°C, antes de iniciar las pruebas; estas empezaron a las 11:00 h y finalizaron a las 16:00h, realizándose una toma de datos con una frecuencia de 5 minutos.

El balance de energía está definido por la relación entre la energía almacenada y la energía disipada. Se tiene en cuenta solamente como sistema de control, la masa de agua contenida en el recipiente. En la ecuación 8 se presenta un balance simple que relaciona la energía total que incide sobre la muestra contenida en el recipiente con la acumulación y las pérdidas térmicas al ambiente.

El balance presentado por la ecuación 8, muestra la energía total como el producto de la radiación medida en el plano horizontal multiplicada por el área de proyección de cada cocina y la eficiencia óptica del sistema recipiente-bolsa. La energía para calentar la masa de agua, es el producto de su masa por la capacidad específica y la variación de temperatura respecto al tiempo. Las pérdidas se describen como el producto de un coeficiente global de pérdida por la diferencia de la temperatura de recipiente y la temperatura ambiente (las pérdidas son convectivas –en su mayoría por acción del viento-, radiativas y conductivas).

$$\eta \times A \times I_n = \left(m \times c_p \times \frac{\Delta T}{\Delta t} \right) + U \times (T - T_a) \quad (8)$$

Energía total

Ganancia

Pérdida

La expresión de la ecuación 8 muestra tres energías por unidad de tiempo que se relacionan en el sistema. Se propone reducir a dos variables dividiendo las ganancias y las pérdidas por la potencia total. Se obtiene una nueva expresión que relaciona el cociente entre la potencia de calentamiento y la potencia total; esta es la que representa la eficiencia instantánea. La otra variable, es el cociente entre la diferencia de temperatura y la potencia total, representa las pérdidas ponderadas.

$$\frac{\eta}{U} - \frac{1}{U} \left(\frac{m \times c_p \times \frac{\Delta T}{\Delta t}}{A \times I_n} \right) = \left(\frac{T - T_a}{A \times I_n} \right) \quad (9)$$

Se realiza un ajuste lineal de estas dos variables como lo muestra la ecuación 9, representando el término de eficiencia en el eje de las abscisas y el término de pérdida en el eje de las ordenadas; la pendiente resultante del ajuste representa un promedio de la inversa del coeficiente global de pérdidas y el término independiente es el cociente entre la eficiencia óptica y el coeficiente global de pérdida.

2.3. Adquisición de datos

Las pruebas se llevaron a cabo cerca de la ciudad de

Barranquilla (11° Norte, 74.5° Oeste – Puerto Colombia) durante los meses de febrero, marzo y abril bajo unas condiciones ambientales muy similares, representadas en días completamente soleados con bajo índice de nubosidad.

Para la recolección de datos se empleó una estación medidora, la cual está conformada por un datalogger -Campbell CR1000- encargado de almacenar los datos obtenidos; estos no superan el rango de $\pm 0.18\%$ de error, del valor recolectado a partir de las termocuplas Tipo K, las cuales se caracterizan por su rápida respuesta y por mantener un rango de temperaturas de 0 a 1300°C, con una precisión de $\pm 0.5^\circ\text{C}$. También se utilizó un datalogger DECAGON, el cual administra los datos arrojados por el piranómetro DECAGON y el anemómetro Davis Cup. El primero de ellos, mide un rango de flujo de radiación solar desde 0 hasta 1750 W/m², con una precisión de $\pm 5\%$ y, el segundo mide la velocidad del viento a partir de 0 hasta los 58m/s con una precisión de $\pm 5\%$. Los datos son exportados por el software Ech20 utility a un ordenador para su manipulación e interpretación.

3. RESULTADOS

La medición de las áreas proyectadas y las cargas deducidas para cada cocina mediante la ecuación 7 se observan en la tabla 1.

Los resultados de cada toma de datos fueron analizados mediante softwares especializados procedentes de los dataloggers Decagon y Campbell CR1000. Los datos se muestran gráficas que representan las variables de interés.

La temperatura ambiente presentada en la figura 4 indica bajo qué condiciones ambientales se llevaron a cabo las pruebas. Se mantiene con poca variación al transcurrir el día por su ubicación geográfica, además se observa que a altos valores de radiación se obtiene un crecimiento acelerado de la temperatura en la cocina. Se tiene en cuenta que la tendencia de las temperaturas sensadas en cada una de las cocinas respecto a la radiación y al medio ambiente suelen ser similares, por eso no se consideró pertinente mostrar la totalidad de las gráficas pero sí una tabla con todos los resultados.

Se verificó que cada cocina cumpliera con la característica de elevar la temperatura del agua dentro del recipiente y que alcanzara el punto de cocción, es decir los 80°C. Posteriormente, se evaluó el tiempo en el que esta temperatura se mantuvo por encima de los 80°C, es decir, en la zona de cocción. Luego la radiación decrece en el día y así mismo decrece la temperatura. Evaluando de esta manera la inercia térmica que esta posee, que es la capacidad de mantener la temperatura cuando la radiación disminuye.

Tabla 1. Prototipos de cocinas solares.

Table 1. Solar cookers prototypes.







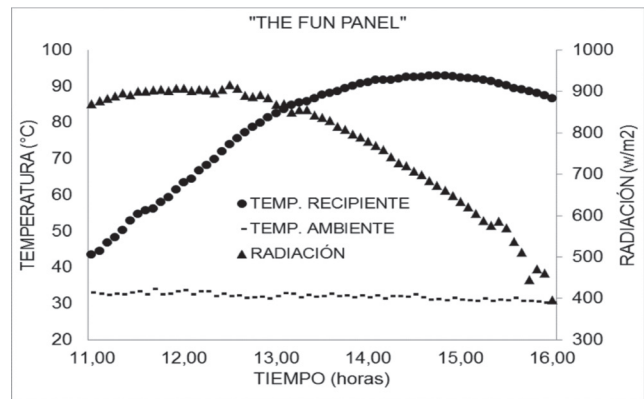
CAPACIDAD DE CARGA Y ÁREA PROYECTADA DE LAS COCINAS SOLARES			
	COCINA	ÁREA PROYEC. (m2)	CARGA (Kg)
	COCKIT	0,5298	3,640
	THE FUN PANEL	0,2913	2,002
	DUAL-SETTING PANEL COOKER	0,5040	3,463
	SOLAR FUNNEL COOKER	0,3974	2,731
	OPEN BOX	0,3952	2,715
	BOX COOKER	0,4619	3,173

Figura 4. Gráfica de la relación temperatura, radiación y tiempo.







Figure 4. Temperature, radiation vs. time.



De las gráficas se tomaron los valores de mayor relevancia para poder realizar una tabla que generalizara el comportamiento de todas las cocinas. La tabla 2 muestra si se alcanzó el punto de cocción y el tiempo en alcanzarlo, el tiempo en la zona de cocción y la temperatura máxima alcanzada por cada cocina.

Tabla 2. Evaluación de parámetros de los modelos de cocinas solares.

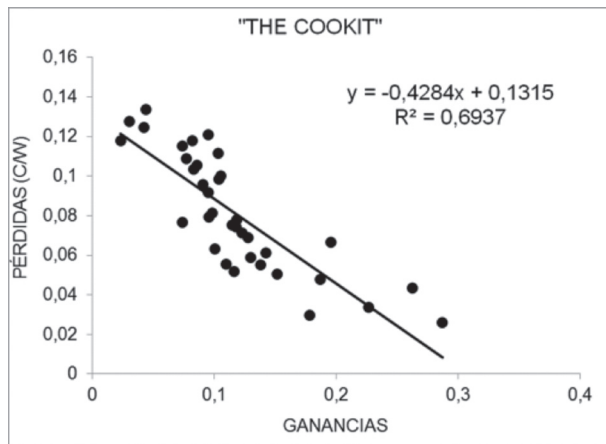
Table 2. Parameters evaluation.

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LAS COCINAS					
	COCINA	PUNTO DE COCCIÓN	TIEMPO DE ALCANCE PUNTO DE COCCIÓN	TIEMPO EN ZONA DE COCCIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)
	THE COOKIT	SÍ	13:20 (2h 20 min)	16:00 (2 h 40 min)	89,5
	THE FUN PANEL	SÍ	12:40 (1h 40 min)	16:00 (3h 20 min)	96,65
	THE OPEN BOX	NO	-	-	-
	THE BOX COOKER	SÍ	13:45 (2h 45 min)	16:00 (2h 25 min)	87,8
	DUAL -SETTING PANEL COOKER	SÍ	13:30 (2h 30 min)	16:00 (2h 30 min)	92,7
	THE SOLAR FUNNEL COOKER	NO	-	-	-

Se observa que los modelos “Dual-setting panel cooker” y la “Solar funnel cooker” no alcanzaron el punto de cocción, por lo tanto no se las incluyó en el posterior análisis.

Posteriormente se muestra un análisis de eficiencias mediante el ajuste lineal según el criterio propuesto por la ecuación 8. La figura 5 muestra cómo se realiza el ajuste modulado por la energía total de las pérdidas versus las ganancias.





Figura 5. Comportamiento cocina solar “THE COOKIT”.
Figure 5. COOKIT behavior.



En la tabla 3 se observa los distintos parámetros que surgen del ajuste lineal según la ecuación 8.

Tabla 3. Parámetros que resultan del ajuste lineal entre las pérdidas ponderadas y la eficiencia.

Table 3. Parameters resulting from weighted linear fit between losses and efficiency.

EFICIENCIA DE LAS COCINAS SOLARES				
COCINA	Pendiente (1/U) °C/W	Coefficiente global de pérdida (U) W/°c	Ordenada al origen (η) °C/W	Eficiencia óptica (η)
 THE COOKIT	0,4284	2,3343	0,1315	0,307
 THE FUN PANEL	0,4489	2,2278	0,134	0,2985
 THE BOX COOKER	0,5304	1,8854	0,1321	0,2491
 DUAL -SETTING PANEL COOKER	1,8469	0,5414	0,2243	0,1214

Al relacionar estos dos factores se debe tener en cuenta la dispersión, la cual no debe tener un factor de correlación menor al 0.7 según los datos estadísticos. Asimismo, la pendiente asume valores negativos para indicar que su tendencia es decreciente. Como se analiza la relación entre las pérdidas y las ganancias de cada una de las cocinas, los valores que presenta la pendiente pueden ser menores o mayores que -1. Se tuvo en cuenta los datos de temperatura solo hasta el punto máximo de ganancia de temperatura puesto que se está analizando calentamiento y no enfriamiento, por ello las pérdidas energéticas no

pueden igualar o superar las ganancias para obtener una apropiada, porque la masa de agua perdería mucha energía hacia el ambiente y acumularía muy poca. Sabiendo esto, se observa cual es el valor absoluto de la pendiente con el número más cercano a cero, lo cual indica que esa es la cocina con mayor eficiencia de entre las demás analizadas. Como la pendiente toma valores negativos, es natural que se presenten pendientes en valor absoluto pronunciadas para coeficiente globales de pérdida pequeños y pendientes reducidas para coeficientes de pérdida grandes.

Se realizaron ensayos de calentamiento de masa de agua en distintos prototipos de cocinas solares con el objeto de determinar su comportamiento térmico al calentar una determinada masa de agua. El cálculo de la cantidad de agua estuvo condicionado al área proyectada que representa la apertura de cada cocina, sometiendo a todas a las mismas condiciones de la relación carga-energía recibida.

Se realizó un análisis a primera instancia de los datos obtenidos en cada ensayo, tiempo en alcanzar la temperatura de cocción y tiempo en que mantenía esa temperatura. De los seis ensayos, dos no alcanzaron esa temperatura, mientras que las restantes si lo hicieron. Se observa que “The fun Panel” es la que alcanza la temperatura de cocción en menor tiempo y mantiene esa temperatura por más tiempo, tal como lo muestra la tabla 2.

Cuando se analiza la relación de las pérdidas ponderadas y la eficiencia instantánea en un ajuste lineal, se observa que la pendiente es una expresión de la relación entre ganancias y pérdidas, pues si la pendiente es baja existe más ganancia que pérdida. Por el contrario, si la pendiente tiende a cero, se observa que las pérdidas son menores que la ganancia. En la tabla 3 se observa la “The Fun Panel” que posee la pendiente más baja de todas, por lo tanto sus ganancias son mayores que sus pérdidas. Se observa que posee un coeficiente global de pérdida un poco alto comparado con el grupo, pero se debe tomar en cuenta también la eficiencia óptica que es una de las más altas de todo el conjunto. Si se observa el resto, existen cocinas que muestran una mejor pendiente, pero poseen eficiencia óptica baja o coeficiente global de pérdida alto.

4. CONCLUSIONES

Se realizó una descripción de las distintas metodologías de evaluación del comportamiento térmico de cocinas solares. De todos se adaptó un protocolo para medir y se propone una nueva forma de mostrar los resultados. Se realizaron pruebas con 6 tipos de prototipos diferentes de cocinas solares. Las pruebas se llevaron a cabo cerca de la ciudad de Barranquilla (11° Norte, 74.5° Oeste – Puerto Colombia) durante los meses de febrero, marzo y abril bajo condiciones ambientales muy similares a las representadas en días completamente soleados con bajo índice de nubosidad. Los ensayos consistieron en el ca-

lentamiento de determinada cantidad de masa de agua en distintos prototipo. El cálculo de la cantidad de agua estuvo condicionado al área proyectada que representa la apertura de cada cocina, sometiendo a todas a las mismas condiciones de la relación carga-energía recibida.

Dichos resultados permiten concluir según la forma en que se propone mostrar los resultados:

- El tipo de prototipo más adecuado para los fines de cocción es el "The Fun Panel", pues este, alcanza la temperatura de cocción en menor tiempo que los otros dispositivos, a su vez mantiene esa temperatura por más tiempo.
- "The Fun Panel" posee la pendiente más baja de todas en la relación de las pérdidas ponderadas y la eficiencia instantánea en un ajuste lineal, por lo tanto sus ganancias son mayores que sus pérdidas.
- El "The Fun Panel" posee coeficiente global de pérdida un poco alto comparado con los demás prototipos, pero en contra prestación cuenta con una de las eficiencias ópticas más altas.

REFERENCIAS

- [1] J.Castilblanco,H.Villamil,E. Martínez, P. D.Bonaveri, L. E.Mealla Sánchez. "Cocción solar—una alternativa para comunidades emergentes de Barranquilla".Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 14, 03.93-03.98, 2010.
- [2] Solar Cooking International Network (SCInet) (2013), [en línea] <http://solarcooking.wikia.com/wiki/Solar_Cookers_International_Network>[Citado en 27 de septiembre de 2014].
- [3] M. Wentzel, A. Pouris. "The development impact of solar cookers: A review of solar cooking impact research in South Africa", Energy Policy, 35 (3), 1909-1919, 2007.
- [4] I. Purohit. "Testing of solar cookers and evaluation of instrumentation error", Renewable Energy, 35, 2053-2064, 2010.
- [5] N. Kumar, G. Vishwanath, A. Gupta. "An exergy based unified test protocol for solar cookers of different geometries", Renewable Energy, 44, 457-462, 2012.
- [6] S. Mahavar a, N. Sengar, P. Rajawata, M. Verma, P. Dashora. "Design development and performance studies of a novel Single Family Solar Cooker", Renewable Energy, 47, 67-76, 2012.
- [7] Solar Cooking International Network (SCInet) (2014),Testing [en línea]. <http://solarcooking.wikia.com/wiki/Testing#Water_Boiling_Test_.28WBT.29> [Citado en 27 de septiembre de 2014].
- [8] A. Saxenaa, Varun, S.P. Pandey, G. Srivastav. "A thermodynamic review on solar box type cookers", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15,3301–3318, 2011.
- [9] Programa Nacional de uso racional y eficiente de la Energía (PROURE) (1: 2010: Bogotá) memorias de UPME. Bogotá: PROURE, 2010. 34 p.
- [10] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2008), Atlas de Radiación Solar de Colombia [en línea]. <http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf> [citado en 27 de septiembre de 2014].
- [11] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2014), Pronóstico IDEAM [en línea].<<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>> [Citado en 27 de septiembre de 2014].
- [12] Solar Cooking International Network (SCInet) (2013), ASAE Standard S-580.1-Revised August 2013 [en línea]. <http://solarcooking.wikia.com/wiki/File:ASAE_Standard_S-580.1-Revised_August_2013.pdf> [Citado en 27 de septiembre de 2014].
- [13] P.A. Funk."Evaluating the International Standard Procedure for Testing Solar Cookers and Reporting Performance", Solar Energy, 68 (1), 1-7, 2000.
- [14] H. Servín Campuzano, M. González Avilés. "Development of the solar cookerjorhejpatarnskua: thermal standardanalysis of solar cooker withseveralabsorber pots", Energy Procedia, 57, 1573 – 1582, 2014.
- [15] L. B. López Sosa, M. González Avilés, D. González Pérez y Y. Solís Gutiérrez. "Rural Solar Cookers, an alternative to reduce the timberresource extraction through the use of renewable energysources:technology transfer and monitoring project", Energy Procedia, 57, 1593 – 1602, 2014.
- [16] M. Bayray Kahsay, J. Paintin, A. Mustefa, A. Haileselassie,M. Tesfay y B. Gebray. "Theoretical and Experimental Comparison of Box SolarCookers with and without Internal Reflector", Energy Procedia, 57, 1613 – 1622, 2014.
- [17] Indian Standard IS 13429 (1992), Solar Cooker- (3 Parts)[en línea]. <<https://law.resource.org/pub/in/bis/S08/is.13429.3.2000.pdf>> [Citado en 27 de septiembre de 2014].
- [18] S.C. Mullick, T.C. Kandpal, A.K. Saxena. "Ther-

mal test procedure for box-type solar cookers”, *Solar Energy*, 39 (4), 353–360, 1987.

[19] ECSCR (1994). Solar Cooker Test Procedure, Version 3, 1994.

[20] B. S. Mueller, F. L. Odaba (2009). Prueba de agua hirviendo para Cocinas Solares - WBT SC Versión 1.0.3. [en línea]. < http://www.pciaonline.org/files/WBT4.1.2_0.pdf> [Citado en 27 de septiembre de 2014].

[21] R. Bailis (2004). Controlled Cooking Test (CCT), [en línea]. <http://www.pciaonline.org/files/CCT_Version_2.0_0.pdf> [Citado en 27 de septiembre de 2014].

[22] R. Bailis (2007). Kitchen Performance Test (KPT) [en línea]. <http://www.pciaonline.org/files/KPT_Version_3.0_0.pdf> [Citado en 27 de septiembre de 2014].

[23] M.E. Castell, A. Finck, M. Collares y L. Vásquez. “Propuestas de Procedimiento para la Evaluación de las características, de seguridad, de calidad

de materiales y de mantenimiento de cocinas y hornos solares”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 3 (2), 08.133-08.136, 1999.

[24] M.E. Castell, A. Finck, M. Collares, S. Fonseca y A. Steves. “Protocolo de Cocción Solar de Ricsa. Apreciaciones respecto de la Determinación de la Energía y la Carga para Determinar la Potencia Efectiva de Cocción”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 3 (2), 8.137-8.139, 1999.

[25] S. Shaw (2008). Development of a Comparative Framework for Evaluating the Performance of Solar Cooking Devices. [en línea] <http://vignette2.wikia.nocookie.net/solarcooking/images/e/e5/Shawn_Shaw_thesis_on_solar_cooker_testing_standards.pdf/revision/latest?cb=20080215190130> [Citado en 27 de septiembre de 2014].

[26] Solar Cooking International Network (SCInet) (2012), Build a Solar Cooker [en línea]. <<http://solarcooking.org/plans/>> [Citado en 27 de septiembre de 2014].