

MODELO DINÁMICO TÉRMICO DE UNA COCINA SOLAR DE PEQUEÑAS DIMENSIONES EN CONDICIONES DE RADIACIÓN SOLAR VARIABLE

V. Passamai¹, S. Garmadi², S. Zamora³ y T. Passamai⁴.

Universidad Nacional de Salta (UNSa). Consejo de Investigaciones (CIUNSa) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales (INENCO) C.P. 4400 – Salta
Tel. 0387-4255389 –e-mail: victorpassamai@gmail.com

Recibido 27/07/17, aceptado 28/09/17

RESUMEN: En este trabajo se desarrolla un modelo del funcionamiento térmico de una cocina solar de pequeñas dimensiones, en el caso en que la radiación total incidente proviene de condiciones reales de campo. Con los datos de temperatura ambiente y radiación, se aplicó un modelo de evolución térmica de la temperatura de 300 ml de agua en una olla enlozada liviana, resolviendo la ecuación en este caso no paramétrico. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, con errores menores del 2%.

Palabras clave: cocción solar, simulación, modelo dinámico y experimentación.

INTRODUCCION

La cocina solar ha sido usada desde los primeros trabajos científicos, como una práctica y eficiente aplicación para el aprovechamiento de la energía solar, especialmente para el caso de radiación solar directa. Es sorprendente que uno de los primeros trabajos publicados hace casi 140 años en Scientific American (Adams, 1878), mencione todos los detalles a tener en cuenta para la construcción de una cocina solar, bajo el título “Cooking by solar heat”.

El autor, W. Adams, de Bombay, India, decía acerca de su “cooking apparatus”, lo siguiente: “El gráfico que acompaña da una idea del principio por el cual el aparato cocina. Consiste de un reflector cónico, A, construido en madera y cubierto por un vidrio común espejado. En su interior se dispone de un recipiente cilíndrico de cobre B, que está cubierto por un vaso de vidrio C. El recipiente de cocción se eleva 10 cm de la base, la cubierta de vidrio es 12,5 cm más larga que el recipiente y 5 cm más ancha, lo que deja una distancia de 10 cm de aire caliente debajo del hervidor y 2,5 cm a su alrededor y sobre la tapa. La base inclinada donde se asienta el aparato, permite que los rayos incidan perpendicularmente a la tapa del hervidor. Como el vidrio es diatérmano, tanto a los rayos directos como a los reflejados, y no diatérmano al calor oscuro, los rayos atraviesan el vidrio y, al incidir en el recipiente, se transforman en calor oscuro y son retenidos por el vidrio. La cubierta de vidrio se hace octogonal porque así puede usarse vidrio común para su armado. Tanto un domo de vidrio, como el que se usa para cubrir relojes, como un reflector de cobre electrodepositado con plata, serían mejores que el sistema propuesto, pero aumentan el costo. La posición del aparato requiere ser cambiada cada media hora aproximadamente, para apuntar al sol en su aparente curso de este a oeste. Las raciones de siete soldados, consistentes de carne y vegetales, se cocinan completamente en dos horas, en enero, el mes más frío del año en Bombay y los hombres aseguran que el alimento así cocinado es mucho mejor que de la forma ordinaria. Si se retiene el vapor, el plato es un guiso o resulta hervido; si se deja escapar, la comida se hornea. El reflector tiene un diámetro de 80 cm. La intensidad del calor aumenta con el diámetro del reflector. Una ventaja de este aparato es que el alimento se mantiene caliente durante un tiempo prolongado luego que ha sido retirado de los rayos solares...” (Adams, 1878). La

¹ Investigador del CIUNSa y CONICET. Departamento de Física de la Facultad de C. Exactas.

² Pasante francés de la Universidad Pau.

³ Investigadora del CIUNSa. Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería.

⁴ Investigadora del CIUNSa. Departamento de Matemática de la Facultad de C. Exactas.

Figura 1 hace referencia a lo indicado por el artículo.

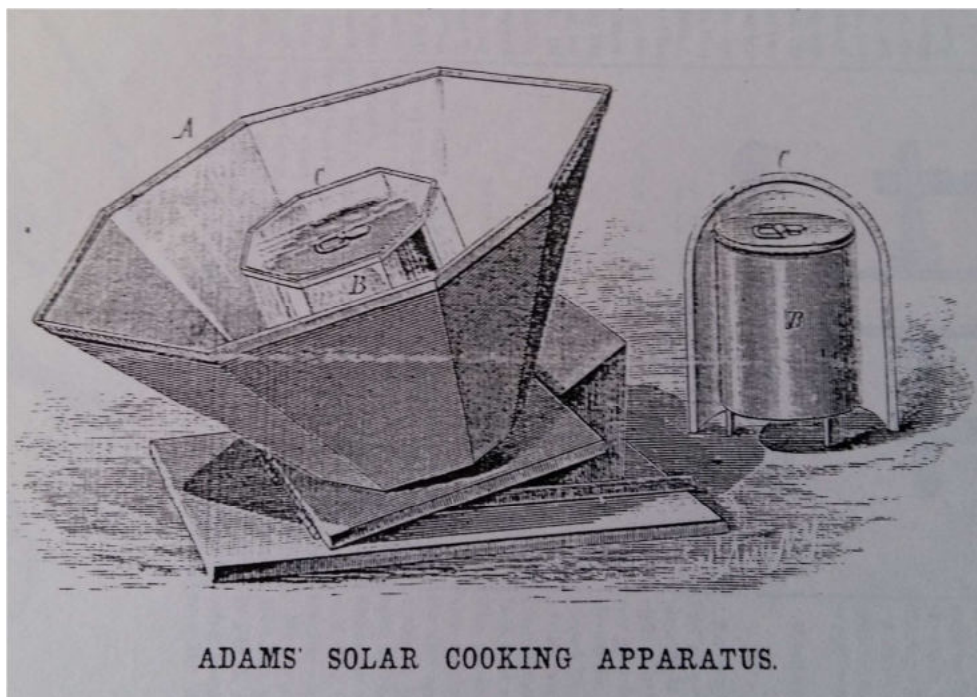


Figura 1: Aparato para cocinar de Adams.

Meinel y Meinel (1977) refieren en su libro que los primeros experimentos relacionados con hornos para preparación de alimentos fueron descriptos por Nicholas de Saussure, alrededor de 1770. Mediante su dispositivo, básicamente una caja aislada cubierta por un vidrio transparente, logró temperaturas de hasta 88 °C. También se refieren al astrónomo inglés John Herschel quien, en 1837, usó doble vidrio como cubierta transparente logrando una temperatura de hasta 120 °C. Otro astrónomo, C. G. Abbot, nacido en 1873, reportó el uso exitoso de su cocina solar en el monte Wilson, donde tenía su observatorio. Entre los hornos solares inicialmente desarrollados y publicados en revistas científicas, no debe dejarse de mencionar el de Telkes (1959).

Por otra parte, diversos modelos fueron investigados, tales como los de tipo caja, concentrador parabólico y otros de alta eficiencia (Garg et al., 1978; Patel, 1981; Khalifa et al., 1987; Duffie y Beckman, 1991).

En el ámbito local cabe mencionar a Echazú y Saravia (1985), quienes construyeron una cocina solar en chapa de hierro, de forma cilíndrica, con una puerta lateral y aislamiento de lana de vidrio, concentrador con forma de cono truncado y un mecanismo sencillo para orientar el dispositivo. Passamai et al. (1997 a 2000, 2002, 2004, 2007, 2008, 2010, 2013 a 2015) realizaron experiencias con cocinas solares de tipo caja y otras de cartón, de pequeñas dimensiones, modificada a partir de la que realiza la organización Solar Cookers International (SCI, 2017). Esta promueve el uso de cocinas solares de pequeñas dimensiones, diseñadas a mediados de 1970 por el francés Roger Bernard y Barbara Kerr de Estados Unidos, a las cuales denominan "CooKit". Una modificación del tamaño original de éstas permitió, desde 2002 (Passamai, V. y Passamai, M.), trabajar con un dispositivo que permite ser usado para cantidades equivalentes a platos típicos de la zona del noroeste argentino, guisos por ejemplo, de alrededor de 300 g. Todas estas son muy parecidas a la construida por Adams en 1878.

Trabajos anteriores permitieron determinar que la cocina solar tipo CooKit, de pequeñas dimensiones, portátil y con un peso no superior a 500 g tiene un funcionamiento térmico similar al de una cocina solar de tipo caja, de 5 kg de peso (Passamai y Passamai, 2002). Los precios actuales de ambos modelos tienen una amplia diferencia, siendo la primera de 10 dólares aproximadamente, mientras la segunda supera los 200 dólares de costo.

En 2002 (op. cit.) decíamos: “...el giro de acontecimientos desde fines de diciembre de 2001, ha transformado a Argentina en una nación donde el costo de una cocina solar de tipo caja, con materiales de cierta durabilidad y robustez, hace prohibitivo su adopción por parte de la población empobrecida por sus bajos ingresos y la carencia de puestos de trabajo. Por el mismo lado, el aumento de los costos de gas, especialmente el envasado en garrafas, adoptado principalmente por usuarios de mayores carencias, que no poseen una red de gas domiciliario, ha movido a los mismos a la búsqueda de leña de los cerros vecinos, con la consecuente erosión e impacto ambiental.” Hoy parece actualizarse esa situación señalada antes, con lo que tiene vigencia la misma para muchas personas, incluso de l resto de Sudamérica. Respecto del diseño, construcción y uso de la olla en la que se cocina, dicho trabajo permitió aseverar que las ollas debían tener tapa oscura y, contrariamente a lo que a veces se piensa, las de tapa de vidrio transparente no son mejores para la cocción solar que aquéllas de tapa oscura. También se llegó a determinar que 300 g de agua, y no mucho más, son convenientes para lograr la ebullición en condiciones competitivas con la cocina solar de tipo caja. La conveniencia de elevar la olla, para recibir radiación solar reflejada en la base, fue establecida en 1878, pero esta modalidad fue adoptada por Passamai et al. recién en 2007 (op. cit.).

OBJETIVO DE ESTE TRABAJO

Un objetivo de este trabajo es aplicar la ecuación de la dinámica térmica desarrollada anteriormente (Passamai et al., 2007) al caso en que se tiene radiación solar, fuera del laboratorio, o sea en condiciones de uso real. Para ilustrar mejor al lector, se tomará lo desarrollado en dicha oportunidad, expresando el parámetro radiación, I (W/m^2), como función del tiempo.

En términos generales, tomaremos como “sistema” desde el punto de vista Termodinámico (Passamai, 2009), a la masa de agua de 300 g que se encuentra dentro de la olla. Esta masa, a través de su entorno (olla, bolsa de polipropileno y cocina solar propiamente dicha), recibe una cantidad de calor $I\kappa A$ (W), donde I (W/m^2) es la intensidad de radiación, κ el coeficiente medido que da la cantidad total de radiación que le llega a la olla con agua y A el área neta de incidencia de esa radiación. Esa cantidad de calor instantánea (W), se distribuye entre lo que efectivamente le llega a la masa de agua y lo que globalmente se pierde. Esto se resume matemáticamente mediante la ecuación (4) del trabajo citado:

$$I\kappa A = mcdT/dt + UA_p(T - T_a) \quad (1)$$

Donde, como se dijo, $I=I(t)$. Tanto la temperatura ambiente, T_a , como $I(t)$, fueron medidas mediante un datalogger. Las suposiciones que se realizan, son:

1. El problema se puede resolver manteniendo la posición de la cocina solar durante todo el tiempo que dura el experimento. Esta observación, no realizada por Adams en su trabajo de 1878, facilita la operación de la cocción solar, pues el operador sólo debe exponer su Cookit apuntando al noreste (en el hemisferio sur), no viéndose obligado a redireccionar cada media hora, pues la cocción se realiza sin inconvenientes.
2. A los fines prácticos, el problema sólo requiere de una ecuación, pues nuestro sistema sometido a cambios térmicos está expuesto únicamente a la radiación incidente y la temperatura ambiente, despreciándose la velocidad del aire (por estar la olla rodeada de una bolsa transparente de polipropileno (op. cit)).
3. El “sistema” es la masa de agua igual a 300 g colocada dentro de la olla, siendo su entorno todo lo demás, es decir la propia cocina solar, la envoltura transparente, la olla y las condiciones eternas de temperatura ambiente y radiación solar.
4. Se propone tomar a la temperatura ambiente como un parámetro constante, dentro del intervalo de experimentación, normalmente entre las 10:00 y las 13:00 horas del lugar. Esto está avalado por las mediciones realizadas, aunque el método de resolución puede implicar variaciones en la temperatura ambiente con el tiempo.
5. Se puede aplicar el método de Runge-Kutta de cuarto orden para la resolución de la ecuación, la que tiene como condición inicial $T=T(0)=T_a$.

6. En este caso, a diferencia con el trabajo anterior (Passamai et al., 2007), la relación κ fue determinada experimentalmente.
7. El coeficiente global de pérdidas, $U(W/m^2K)$, fue hallado de manera similar a lo realizado en el op. cit., es decir de modo que se optimizara la simulación de T como función del tiempo.

Hechas estas consideraciones generales, recordemos los aspectos fundamentales del modelo que conducen a la ecuación (1) de la dinámica térmica.

Se considera al sistema masa de agua que recibe una radiación total $I\kappa$, donde κ se determina considerando la suma de intensidades provenientes directamente del sol, como de la reflexión que incide desde abajo y el perímetro lateral de la olla. Para ello, se midió tanto la radiación solar incidente colocando el solarímetro apuntando al sol, así como el mismo dirigido hacia la zona reflectante de la cocina solar, es decir en dirección contraria a la anterior. El valor obtenido para κ , realizando diversas mediciones en condiciones de mediodía solar, fue de 1,5.

Con los datos obtenidos de $I(t)$ sobre superficie horizontal, expresados en W/m^2 y medidos mediante un solarímetro Kipp & Zonnen, tomados cada cinco minutos, así como los de la temperatura ambiente, $T_a(t)$, se hizo uso de una planilla de cálculo para resolver la ecuación (1) mediante el método de Runge-Kutta de cuarto orden. A diferencia del caso resuelto para la ecuación (4) de Passamai et al. (2007), donde existe solución analítica pues tanto la radiación incidente como la temperatura ambiente son constantes, para resolver (1) es necesario el empleo de un método numérico como el mencionado, debido a la variación de aquellos parámetros con respecto al tiempo.

Como se dijo, el objetivo del trabajo es obtener un modelo dinámico de la temperatura dentro de la olla de la cocina solar para días soleados o no en Salta, Argentina. El trabajo previo de Passamai et al. (2017) mostraba un modelo para la cocina solar bajo irradiación de lámpara constante. Estaba limitado al espectro de la lámpara usada y por el nivel constante de intensidad de la luz durante todo el tiempo de cocción. El nuevo modelo será independiente de estos dos factores, poniendo como base los puntos experimentales obtenidos para la radiación solar real, en función del tiempo. Se hicieron varias experiencias y, para formular el modelo, tomamos las siguientes hipótesis adicionales:

- La olla se considera que es un disco oscuro de un diámetro de 30 cm
- Tanto la superficie frontal, que recibe la radiación directa, como la inferior, que recibe la radiación reflejada son iguales.
- La superficie equivalente para las pérdidas convectivas y radiativas se considera igual a ηA (con η a ser determinada experimentalmente)

El sistema está bajo una presión atmosférica constante y no existe creación de calor dentro de la olla. La ecuación del balance de energía está dada por (2):

$$I(t)A = mc \frac{dT}{dt} + h_r A_r (T(t) - T_a) + h_c A_c (T(t) - T_a) \quad (2)$$

donde I (W/m^2) es la irradiación incidente, A (m^2) es el área que recibe la radiación, m (kg) es la masa total de agua, c ($J/(kg.K)$) es el calor específico del agua, T (K) es la temperatura del agua en función del tiempo, h_r ($W/m^2.K$) el coeficiente global de pérdida por radiación, A_r (m^2) la superficie que corresponde al intercambio radiativo, h_c ($W/(m^2.K)$) el coeficiente convectivo de pérdida, A_c (m^2) la superficie que corresponde al intercambio convectivo, T_a (K) la temperatura ambiente. La olla no está en contacto directo con la base del reflector, lo que limita el intercambio conductivo.

La radiación está compuesta de dos partes: la superior, que es recibida por la parte de la olla que mira al cielo (designada por I), y la que es recibida por la parte inferior, que proviene del reflector o cocina solar propiamente dicha (designada por I'). Ambas superficies se toman iguales y se designan por A . Introduciendo un factor κ a determinar experimentalmente, obtenemos la ecuación (3):

$$\begin{aligned}
I(t)A &= I(t)A + I'(t)A = A(I(t) + I'(t)) \\
I(t)A &= A(t)I\left(1 + \frac{I'(t)}{I(t)}\right) = A(t)I\kappa
\end{aligned}
\tag{3}$$

Finalmente, combinando ambos coeficientes de pérdidas, dados por $U\eta$, obtenemos la ecuación (4):

$$I(t)\kappa A = mc \frac{dT(t)}{dt} + U\eta A(T(t) - T_a) \tag{4}$$

Para resolver este modelo, con los datos experimentales, usamos el método de Runge-Kutta de 4º orden, caracterizado por las conocidas ecuaciones (5):

$$\begin{cases}
y_{i+1} = y_i + \frac{(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)}{6} \\
k_1 = \Delta t f(x, y) \\
k_2 = \Delta t f\left(x + \frac{\Delta t}{2}, y + \frac{k_1}{2}\right) \\
k_3 = \Delta t f\left(x + \frac{\Delta t}{2}, y + \frac{k_2}{2}\right) \\
k_4 = \Delta t f(x + \Delta t, y + k_3)
\end{cases}
\tag{5}$$

Donde $f(x,y) = y'$.

Despejamos la derivada de la temperatura de la ecuación (2), lo que da por resultado la ecuación (6):

$$\frac{d(T(t) - T_a)}{dt} = A \times \frac{I(t)\kappa - U\eta(T(t) - T_a)}{mc} \tag{6}$$

En esta ecuación dos variables dependen del tiempo: la radiación $I(t)$ y la temperatura $T(t)$. Además, se tienen dos parámetros desconocidos: η y κ . La temperatura ambiente fue medida en la zona de sombra de la cocina solar. En términos generales, y para la duración de la cocción solar, este valor es aproximadamente constante.

Se resuelve esta ecuación con la ayuda de la herramienta “solver” de Excel. Este método es descrito por Walsh y Diamond (1995) y consiste en minimizar la suma de los errores calculados mediante la ecuación (7).

$$err\% = \frac{ABS|T_{calc} - T_{real}|}{273,15 + T_{real}} \times 100 \tag{7}$$

En esta, T_{calc} es la temperatura calculada con el método de Runge-Kutta y T_{real} se obtiene de los experimentos. Los parámetros κ y η fueron tomados del trabajo anterior de Passamai et al. (2007), con lo que el cálculo condujo a un error porcentual de solamente 0,3 %, aproximadamente. La Tabla 1 muestra estos valores (observar que debemos escribir $U\eta$ en lugar de sólo η o U , debido a que se puso el producto de U con η para resaltar el carácter “global” del coeficiente, pudiendo ser interpretado como un $U' = U\eta$).

Parámetro	Valor
κ	1,25
$U\eta$	18,65
$\Sigma err\%$	0,28

Tabla 1: Parámetros de la cocina solar y resultado del error porcentual.

Como se puede observar, este modelo demostró ser matemáticamente correcto, por haberse obtenido un error porcentual tan pequeño. Sin embargo, dado que el valor de κ indica que solamente un 25 % de la radiación es captada por la acción de la reflexión, minimizando el efecto de la cocina solar propiamente dicha, no satisface desde un punto de vista físico, por lo que se decidió medir κ ; como se

indica a continuación. Esto implica un recálculo del valor de $U\eta$, luego de medir κ , para minimizar el error.

Para determinar κ experimentalmente, se midió la relación I/I_0 , disponiendo del piranómetro de la manera indicada en el esquema de la Figura 2.

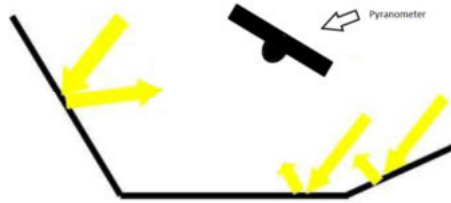


Figura 2: Ubicación del piranómetro para determinar κ .

Las mediciones se hicieron bajo una radiación de cielo claro, cerca del mediodía solar, realizando una variación en el acimut de la cocina solar de modo que se obtuviera una radiación promedio, en las condiciones de un uso diario. Se obtuvo para κ el valor de 1,5, lo cual es más razonable, pues significa un mayor aporte por parte de la reflexión, para llegar a la cocción.

RESULTADOS

Luego de introducir el valor del parámetro κ anteriormente medido, se determinó $U\eta$ mediante el método de optimización del error antes explicado, obteniéndose un error mínimo de 0,3 %, aproximadamente. Con ello, el valor para $U\eta$ encontrado fue de $22 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Con dichos parámetros, se realizó la simulación y comparación de los datos obtenidos para la evolución de la temperatura del agua en dos situaciones distintas, con un resultado óptimo, como puede verse en los gráficos de las figuras 3 y 4, donde se han superpuesto las temperaturas calculada y medida de ambos casos.

CONCLUSIONES

El modelado y simulación simplificados de cocina solar permite visualizar claramente cómo funciona el dispositivo. La aplicación al caso real, con un buen resultado a pesar de las simplificaciones y suposiciones realizadas, permite concluir que se tiene una razonable validación de las hipótesis y modelo presentado.

Aunque es dable esperar modificaciones futuras, que mejoren el funcionamiento y aplicabilidad de este tipo de cocina solar sencilla, la simulación de la misma permite observar sus límites y bondades, aunque casi siempre dependiendo de las buenas condiciones de radiación solar.

La cocina solar de pequeñas dimensiones, modificada a partir de la Cookit, es replicable libremente, de muy bajo costo y sirve como elemento pedagógico para la difusión, uso y aplicación de la energía solar.

Pueden realizarse simulaciones para condiciones variables de radiación y temperatura ambiente, lo que permitirá estudiar la sensibilidad a dichos parámetros.

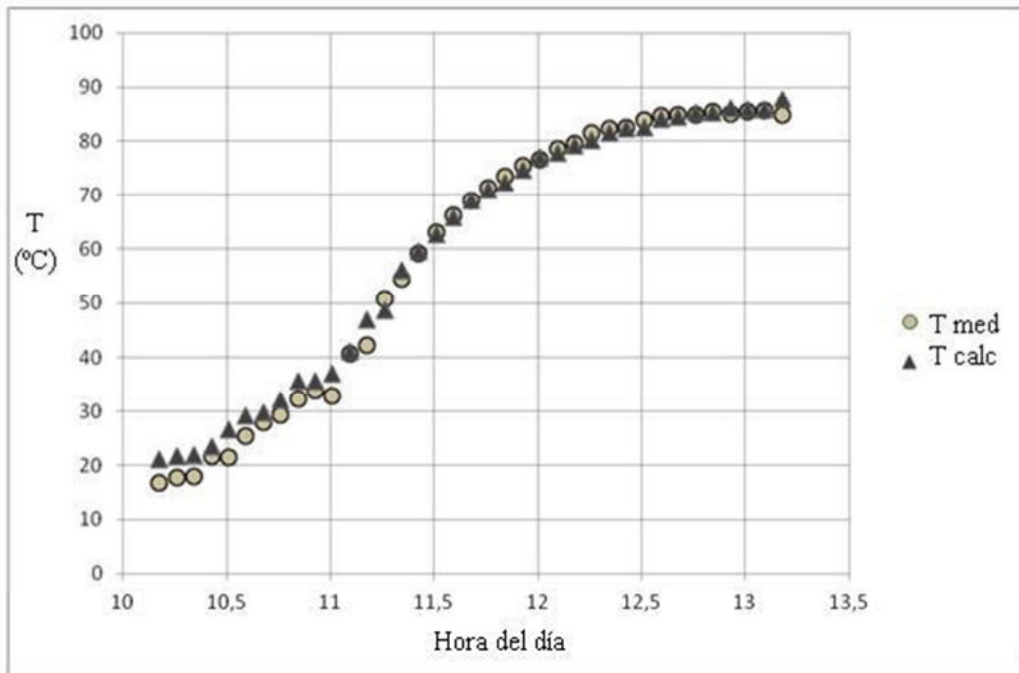


Figura 3: Datos de temperatura medidos y calculados para una experiencia en julio de 2017.

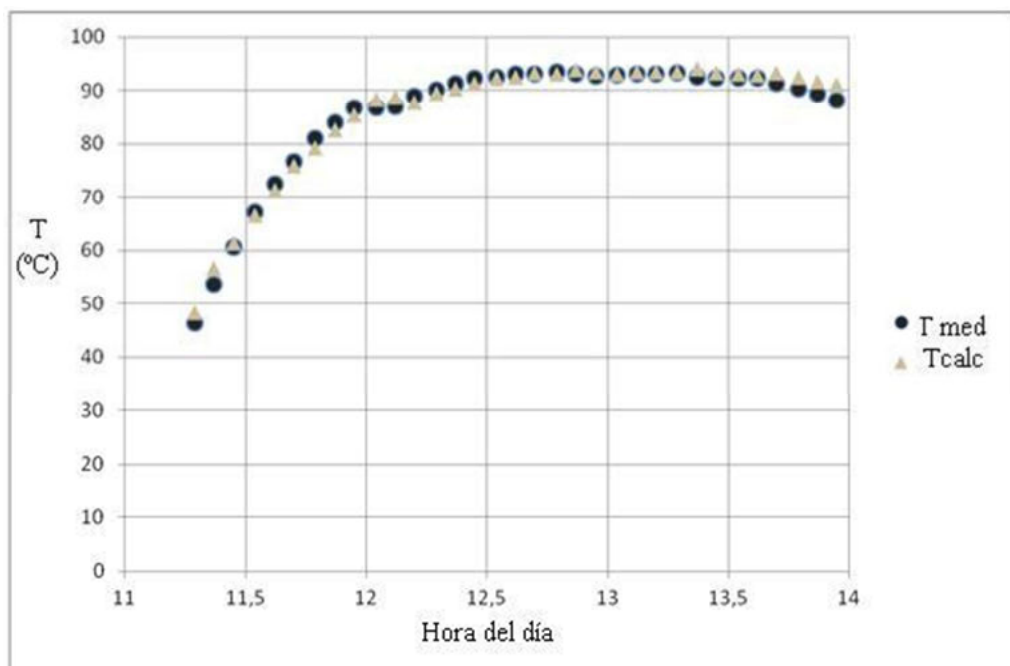


Figura 4: Datos de temperatura del agua en la olla de la cocina solar para otro día de julio.

CROQUIS DEL PROTOTIPO

La figura 5 muestra un croquis del prototipo usado para la realización de este trabajo, que incluye para su terminación, un cartón de 1 mm de espesor, papel para regalo con superficie reflectante, cinta adhesiva para el pegado del elemento reflector al soporte de cartón, accesorios de sujeción para mantener la forma parabólica (broches para ropa), base transparente para colocar la olla, proveniente dicha base del corte de botellas PET de gaseosas de 3 L. Una bolsa transparente de polipropileno es necesaria para encerrar dentro de ella la olla. Se usa una tijera para el corte del cartón y el papel de regalo. Todos estos elementos se pueden adquirir en comercios que venden artículos de papelería. La olla, que debe ser liviana, enlozada, de color oscuro, se adquiere en bazares.

El tipo de comida que se puede preparar en esta cocina solar es variado: arroz (blanco, integral o mezcla); legumbres secas; carnes, verduras (papas, zapallo, cebolla, ajo, etc.) e incluso es posible la cocción de dulces, los cuales generalmente demandan gran consumo de gas, por el tiempo de ebullición que requieren. En general se aconseja, para latitudes del norte argentino, comenzar la cocción temprano en la mañana, retirando el producto listo en horas del mediodía (13:00), el cual no se pega, no rebalsa el agua ni se quema. Para el caso del arroz, es necesario colocar el doble de volumen en agua, siendo este el producto que mejor se prepara, sin requerir atención alguna. Para carnes rojas, suele ser necesario retirar el agua que suelta el producto una hora antes de finalizar, para evitar el gusto a hervido. Si se agregan saborizantes como “chimichurri”, típico de Argentina, las carnes e incluso pescado, suelen tener un gusto muy agradable.

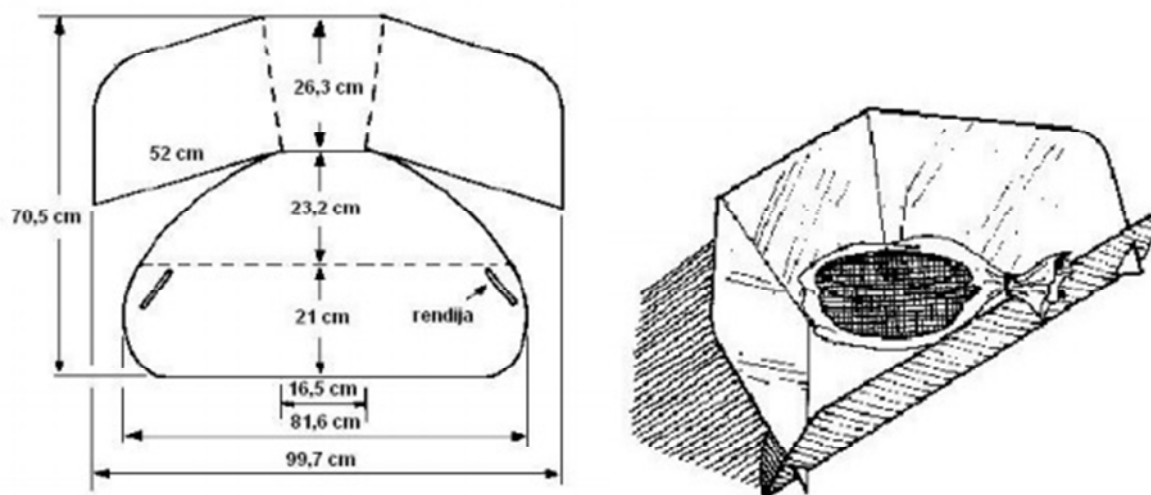


Figura 5: Esquema del prototipo.

REFERENCIAS

- Adams, D. (1878): Cooking by solar heat, Scientific American, Vol. XXXVIII, N° 24, p. 376.
- Bernard, Roger: <http://solarcooking.org/plans/spc.htm> en julio de 2017.
- Telkes, M. (1959): Solar cooking oven. Solar Energy 3, 1-11.
- Garg, H., Mann, S. y Thanvi, K. (1978): Performance evaluation of five solar cookers. Sun: Mankind's future source of energy 3, 1491-1496.
- Patel, S. (1981): Mathematical modeling leading to a solar cooker design. Proc. National Solar Energy Convention, India, 36-40.
- Khalif, A., Taha M. Y Akyurt M.: Design, simulation and testing of a new concentratin type solar cooker. Solar Energy 38, 79-88.
- Passamai V., Robert de Massy C. y Tilca F. (1997), Cocinas solares de tipo caja, ASADES.
- Echazú, R. y Saravia, L. (1985): Experiencias con una cocina solar. Revista Internacional de Arquitectura. Neuquén.
- Passamai, V. (1998): Experiencias de laboratorio y de campo con un horno solar. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 2, N° 1.
- Passamai, V. (1998): Simulación del comportamiento térmico de una cocina solar (Parte I). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 2, N° 1.
- Passamai, V. (1999): Simulación del comportamiento térmico de una cocina solar. (Parte II). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 3, N° 1 (8.81-8.84).
- Passamai, V. (2000): Nuevas experiencias de campo con cocinas solares, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, N° 1 (03.09-03.13).
- Passamai, V. y Passamai, M. (2002): Experiencias con cocinas solares tipo CookKit de costo mínimo, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 6, N° 2, 10.33-10.36.
- V. Passamai, V. Javi, M. Passamai, T. Passamai, J. González, A. Mascotto, M. Arias, S. Gündel, J. Alfaro, S. Valdez, F. Salas, M. Adamo, E. Moreira y C. Campos (2004): Vinculaciones humanas e

- institucionales a través del uso de la energía solar: la Comisaría del Menor y las mini cocinas solares.. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 8, N° 1.
- Passamai, V.; Passamai, T.; Pareja, S. y Pizarro (2007), L.: Física térmica de una cocina solar de pequeñas dimensiones”, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 11, pp. 8.37-8.42.
- Passamai, V.; Passamai, T.; Pareja, S. y G. Pinal (2008): Fabricación de pan. Comparación con la elaboración mediante energía solar. Consideraciones energéticas.. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 12.
- Checura, M. y Passamai, V. (2010). Coeficiente de pérdidas por la cubierta de distintas tapas de cocinas solares tipo caja. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 14.
- Passamai, V. et al. (2010) Uso de energía solar para la cocción de pan sustituido parcialmente por harina de quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 14.
- Passamai, V.; Fernández, S.; Calí, S.; Agüero M. y Teruel, F. (2013). Convenio tripartito entre la Universidad, la Dirección Penal Juvenil y la Secretaría de recursos hídricos en Salta. Experiencias en transferencia y producción de tecnología. Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 1, pp. 12.35-12.42. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5.
- Passamai, V.; Teruel, F.; Calí, S. y Passamai, T. (2014). Resultados y experiencias de la ejecución de un convenio tripartito realizado en Salta. Acta de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 2, pp. 12.27-12.32. Impreso en Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5.
- Passamai, V.; Teruel, F.; Calí, S. y Passamai, T. (2015). Derivaciones de un convenio de transferencia de cocinas solares y braseros optimizados a leña. Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente Vol. 3, pp. 12.103-109. Impreso en Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5.
- Solar Cooking Internacional, <http://www.solarcookers.org/index.php>, en julio de 2017.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición, pp. 54-59. Wiley Interscience, New York.
- Passamai, V. (2009). Apuntes de Termodinámica. <http://www.unsa.edu.ar/passamai/todo1.pdf>.
- Walsh, S. y Diamond, D. (1995). Non-linear curve fitting using Microsoft Excel *Solver*. Talanta, Vol. 42. N° 4. pp. 561-572.

ABSTRACT

A thermal dynamic model of a small solar cooker is developed and it is applied for a real field total solar radiation. With ambient temperature and solar radiation data, a model was applied for the time evolution of the temperature of 300 cc of water contained in a loosened light pot. The equation was solved for this non-parametric case. The obtained results were satisfactory, with obtained errors lower than 2%.

Keywords: solar energy, technology and education.