

INTERRELACIONES ERGONOMICAS DE DOS HORNOS SOLARES

Arturo F. Buigues Nollens - email: abuigues@unsj.edu.ar

Area de Energías Alternativas - Instituto de Mecánica Aplicada – F. I. - U. N. S. J.
Av. Lib. Gral. San Martín 1109 – O – (5400) - San Juan – Argentina - Fax: 054- 0264-4210277

Esteban O. Rojos - email: erijos@unsj.edu.ar

Departamento de Electromecánica - F. I. - U. N. S. J.
Av. Lib. Gral. San Martín 1109 – O – (5400) - San Juan – Argentina - Fax: 054- 0264-4210277

2.4 Coletores de concentração e fogões solares

Resumen. *Este trabajo tiene como objetivo demostrar la vinculación existente entre la energía, la ergonomía y la economía necesaria para las labores del cocinero de zonas con bajos recursos, considerando necesidades de funcionamiento operativo diferentes: lento, a través de un horno solar tipo caja, o rápido mediante un concentrador solar parabólico lineal (CPL) con cámara de cocción.*

La metodología utilizada considera el relevamiento bibliográfico, el estudio de la cantidad de energía necesaria para la cocción de alimentos, relación entre las variables geométricas del concentrador parabólico lineal a través del programa en ambiente MATLAB, el mejoramiento de la colección de energía y la mejora de la transferencia de la misma a los alimentos.

Se han obtenido resultados y respuestas en Salud y Ambiente aplicando técnicas de la ergonomía preventiva, para la obtención de la comodidad y la seguridad durante la preparación de alimentos en el interior de la cocina.

Las conclusiones de este trabajo permiten mejorar la fiabilidad aún costo reducido, de sistemas ergonómicos bajo una perspectiva global en lo que hace al diseño y concepción para la aplicación en viviendas económicas localizadas en rigurosos climas como el de las zonas áridas.

Palabras-claves: *Interrelaciones - Ergonomía - Horno Solar Caja – Solar CPL - Zonas Áridas*

1. INTRODUCCIÓN

Hasta ahora, solo las características de preparación de alimentos o la forma y/o rapidez han dominado el campo del diseño de la cocción u horneado solar. Por un lado los hornos solares son utilizados teniendo en cuenta solo la energía y las formas de evitar las pérdidas de calor, y por otro, los concentradores solares parabólicos, para este caso en estudio de dos dimensiones, se hacen de diferentes medidas, y se realizan teniendo en cuenta solo la cantidad de energía que se debe coleccionar para la cocción de alimentos. Así, al hacer un sistema compuesto por un concentrador parabólico de dos dimensiones con una cámara de cocción teniendo en cuenta solamente estos parámetros, dan como resultado un sistema de gran tamaño, costoso y difícil de operar, que trae aparejado conflictos o problemas como por ejemplo la imposibilidad de aplicación por la falta de recursos de sus usuarios y los problemas de seguridad a quien lo utiliza.

La ergonomía comprende a esta ciencia como un campo de estudio interdisciplinario, donde se debaten problemas relativos a que proyectar y como articular la secuencia de posibles interacciones del usuario con el producto, los servicios o incluso con otros usuarios, (Mondelo P. y Otros, 2003).

La ergonomía es un campo de investigación y práctica que tiene que ser visto en interdependencia directa respecto a los proyectos de concepción de puestos de trabajo y a los atributos funcionales de los productos o servicios.

Así, cabe reflexionar si en climas rigurosos respecto a la cocción y horneado con hornos solares, si a “todas” las personas su Salud y Ambiente les permite:

- Transportarlos fácilmente sobre pisos circundantes con desniveles.

- Operarlos en el exterior con comodidad sobre una ligera estructura alejada del ambiente cocina.
- Permanecer utilizándolos, sin ninguna protección y resguardo.

De ahí la importancia de satisfacer las necesidades del usuario mediante el desarrollo de este trabajo, ya que permite incorporar la cocción y horneado solar, al interior de las cocinas de viviendas compactas de bajo costo en clima riguroso, utilizando la ventana. Por lo tanto para lograr un sistema con dimensiones mínimas técnicamente posibles, se debe diseñar teniendo en cuenta la ergonomía preventiva para evitar costosas correcciones por análisis de errores y rediseños.

Bajo estas condiciones se discute si es posible evaluar sin considerar las interrelaciones o compatibilidad entre condiciones, (primero) las condiciones de ergonomía, seguridad, calidad de materiales y mantenimiento, (segundo) en forma independiente del rendimiento térmico, tal como lo sugiere la normativa Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos (RICSA) (De Castell y Otros, 1998).

2. DESARROLLO

En este sentido, hasta el momento no se ha encontrado información de la incorporación y operabilidad de hornos solares en la ventana de viviendas económicas de tipo compacta, localizados en zonas áridas. Constituyendo así, el diseño ergonómico de los Hornos Solares de Ventana, el principal aporte del trabajo que se desarrolla, con propuestas funcionales que responden a diferentes necesidades de operación: lenta, a través de hornos solares tipo caja o rápida, mediante un concentrador solar parabólico lineal (CPL) con cámara de cocción, utilizables en climas áridos.

2.1 Horno Solar de Ventana Tipo Caja propuesto

Bajo los objetivos planteados, el funcionamiento propuesto en forma sintética son los siguientes para el horno solar tipo caja incorporado a la ventana, fig.1:

- Orientación: Seguimiento solar desde atrás, con disposiciones a 30°, 15° y 0° sobre la mesa de reorientación, previa apertura por abatimiento de la ventanilla inferior.
- Apertura: Extracción y depósito de ollas y grilles, mediante la apertura de la puerta integrada a la bandeja extraíble del H S a través de la ventanilla inferior.

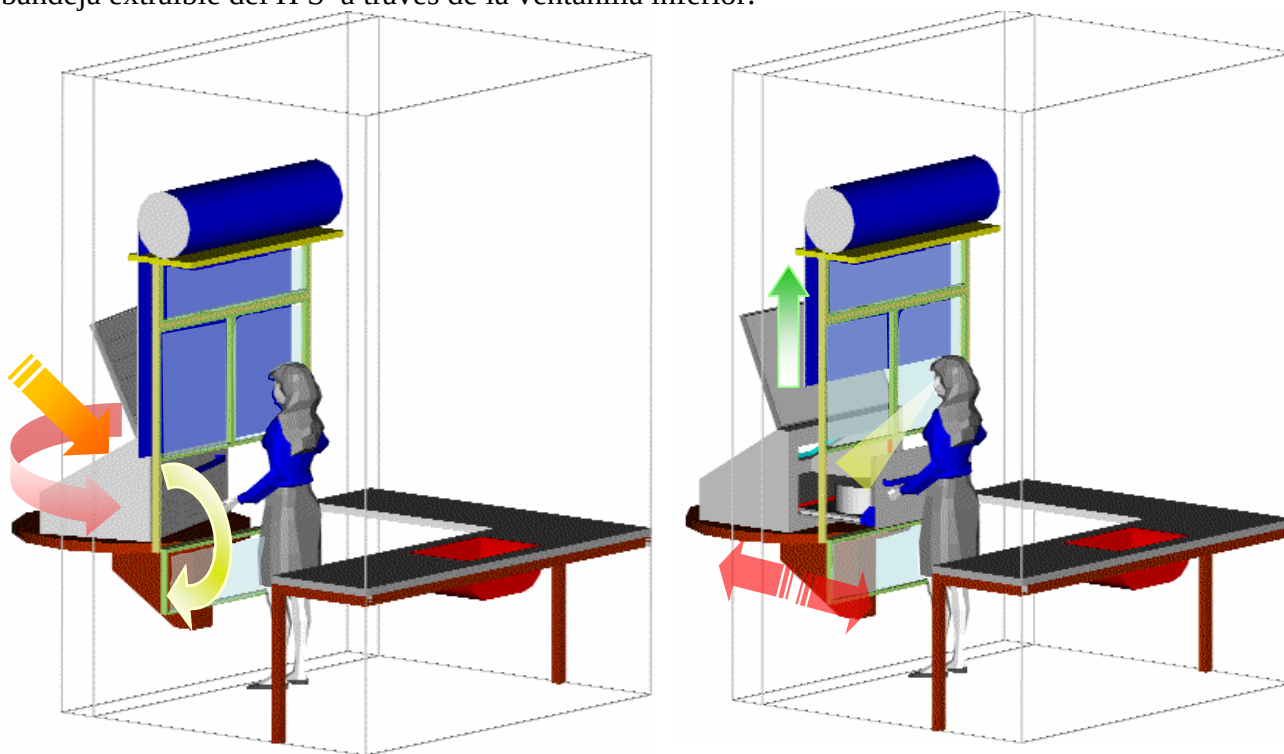


Figura 1- Posicionamiento y operación desde la cocina del horno solar de ventana tipo caja.

- Control visual: Al poder observarse desde el interior las condiciones del ambiente y la posición de la superficie reflectiva, es posible controlar la captación solar a través de de ventanas medias.
- Control del clima interior: Acceso a la cinta para levantar la cortina de enrollar y a la apertura de ventanilla superior e inferior, según necesidad de confort para refrescamiento o ventilación.

2.2 Concentrador Solar Parabólico Lineal con Cámara de Cocción de Ventana propuesto

El funcionamiento de un concentrador parabólico de dos dimensiones con cámara de cocción operable a través de una ventana como la descrita, responde básicamente a las mismas funciones de orientación, apertura, control visual y control del clima interior. De este diseño y funcionamiento no se ha encontrado información hasta el momento. Pero la información disponible respecto de los colectores concentradores parabólicos de dos dimensiones es abundante, de la cual se rescata la que es necesaria para el trabajo presente. Los concentradores más utilizados funcionan bajo el principio de reflexión con concentraciones medias que oscilan entre 10 y 100, en el absorbedor de los mismos se obtienen temperaturas que alcanzan los 300 °C según el nivel de radiación solar y los sistemas de seguimiento no son complicados (Chassériaux J. 1990). El sistema de seguimiento solar adoptado es sencillo y esta previsto mediante una disposición del CPL, según el eje horizontal este-oeste, con posicionamientos mensuales en vertical mediante comando de regulación, previa apertura de ventanillas medias y/o inferiores según la época del año, lo que facilita el calentamiento del fluido agua hasta su vaporización, en forma continua, fig. 2:

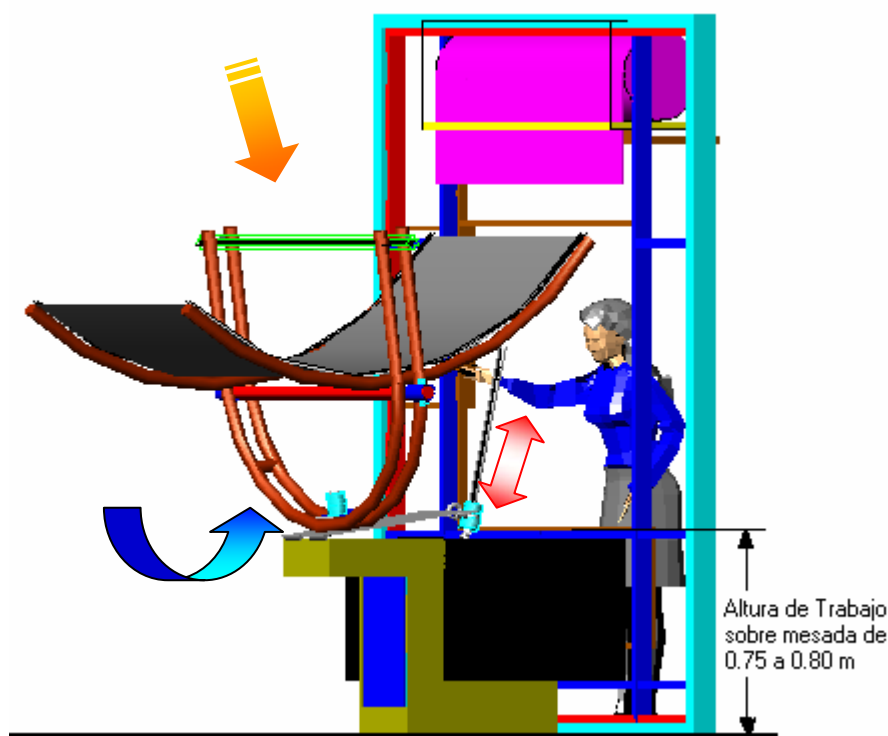


Figura 2 - Posicionamiento del conjunto CPL y absorbedor en verano con una altura solar de 82°.

3. RESULTADOS

3.1 Horno Solar Tipo Caja de Ventana

Respecto de las cocinas solares tipo caja, cuya característica principal es coleccionar energía radiante la que se transforma en calor y como consecuencia del buen aislamiento térmico que poseen, permite que se alcancen en el interior, temperaturas máximas que oscilan alrededor de los 130 °C. De acuerdo a las necesidades de cocción de los alimentos que el usuario tenga, el tamaño del horno solar tipo caja debe ser lo suficientemente grande, como para captar la energía por sí solo.

El área de captación solar total ha sido calculada para 5 litros resultando una superficie de captación más la superficie reflectiva, medida normal al haz directo de $0,86 \text{ m}^2$.

La superficie colectora transparente es de $0,38 \text{ m}^2$ y tiene una proyección horizontal de $0,337 \text{ m}^2$. Presenta una relación 1:1 con la superficie de la placa absorbidora de $0,334 \text{ m}^2$, mientras que el área reflectora es de $0,538 \text{ m}^2$, fig.3.

La primera figura de mérito, que tiene en cuenta la relación de eficiencia óptica del horno y las pérdidas de calor al exterior desde la placa absorbidora de energía solar, alcanzando F1 un valor de $0,106 \text{ } ^\circ\text{C m}^2 / \text{W}$ (2).

Durante las primeras pruebas experimentales sobre el comportamiento térmico en la placa pintada negra del horno y tapa enlozada negra del grill, se obtuvo $130 \text{ } ^\circ\text{C}$ en 120 minutos, para una radiación solar sobre plano horizontal de 800 watt/m^2 (valor medio máximo - período estival), fig.4.



Figura 3 - Funcionamiento experimental exterior e interior del Horno Solar de Ventana tipo caja

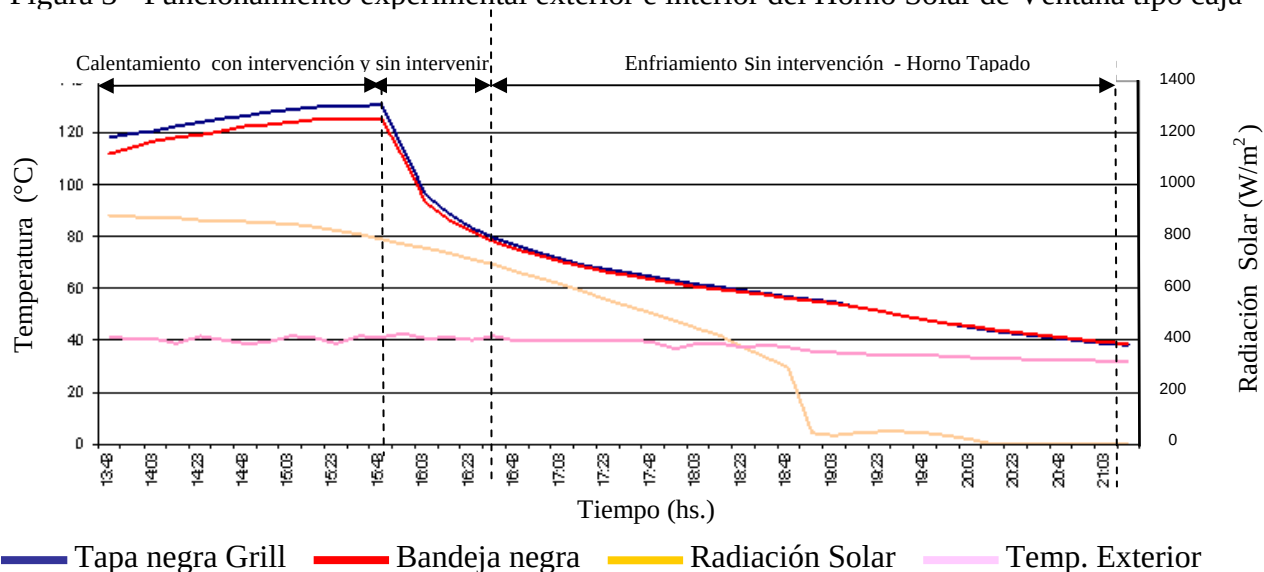


Figura 4 - Comportamiento térmico del horno solar tipo caja sin extracción de alimentos o utensilios durante el ensayo de calentamiento de agua con reorientación

3.2 Concentrador Solar Parabólico Lineal con Cámara de Cocción de Ventana

Respecto a los concentradores se hacen de diferentes tamaños, en nuestros cálculos teóricos para un sistema como el propuesto se ha establecido un tamaño de 1.8 m^2 (Buigues Nollens A.y Rojos E., 1995).

El sistema colector concentrador parabólico de dos dimensiones puede suministrar un flujo continuo de fluido a elevada temperatura, la cual puede oscilar alrededor de los 200°C , dependiendo de la concentración del colector concentrador, el cual puede ser aprovechado en la cámara de cocción.

Ambos sistemas CPL y cámara se han unido considerando relaciones en sus tamaños. En su diseño se han evitado las grandes dimensiones por la incomodidad, inseguridad y altos costos que trae aparejado utilizarlos.

Se debe tener en cuenta que para disminuir el tamaño del horno solar se lo hace considerando solamente el aspecto energético (captación y transmisión). Así para darle forma, el colector concentrador parabólico de dos dimensiones puede adquirir relaciones entre sus dimensiones (longitudinales, transversales y distancia focal) manteniendo el tamaño del área de captación.

A través del programa en ambiente MATLAB se ha determinado la relación entre las variables geométricas del concentrador parabólico lineal y el absorbedor. Así, de los valores de las distintas dimensiones obtenidas, se han elegido las que pueden ser compatibles con su construcción considerando la vinculación de la ergonomía, con la economía y la energía del mismo.

De las tablas obtenidas con los diferentes datos de entrada, se destacan en negritas los de salida adoptados, Tab. 1 y 2:

Tabla 1 - Con datos de entrada en relación al ancho de la parábola

Datos entrada		Datos de salida				Referencias
F	B	A	La	Ra	C _{máx}	
50	190	45.13	215.59	0.44	68.35	F= distancia focal B= arco de la parábola A= ancho de la parábola La= Longitud del arco Ra= Radio del absorbedor C _{máx} = Concentración máxima
55	190	41.02	211.50	0.45	67.71	
60	190	37.60	208.30	0.45	66.61	
50	180	40.50	201.97	0.42	68.06	
55	180	36.82	198.43	0.43	67.08	
60	180	33.75	195.68	0.44	65.70	
65	180	31.15	193.49	0.45	64.06	

Tabla 2 - Con datos de entrada en relación al arco de la parábola

Datos entrada		Datos de salida				Referencias
F	a	B	La	Ra	C _{máx}	
50	50	200.00	229.56	0.47	68.44	F= distancia focal a= profundidad B= arco de la parábola La= Longitud del arco Ra= Radio del absorbedor C _{máx} = Concentración máxima
50	40	178.89	200.47	0.42	68.01	
50	30	154.92	169.25	0.37	66.26	
50	20	126.49	134.48	0.33	61.83	
40	40	160.00	183.65	0.37	68.44	
40	30	138.56	154.32	0.33	67.73	
40	20	113.14	121.96	0.28	64.52	

Nota. Las unidades obtenidas en las tablas 1 y 2 están en cm.

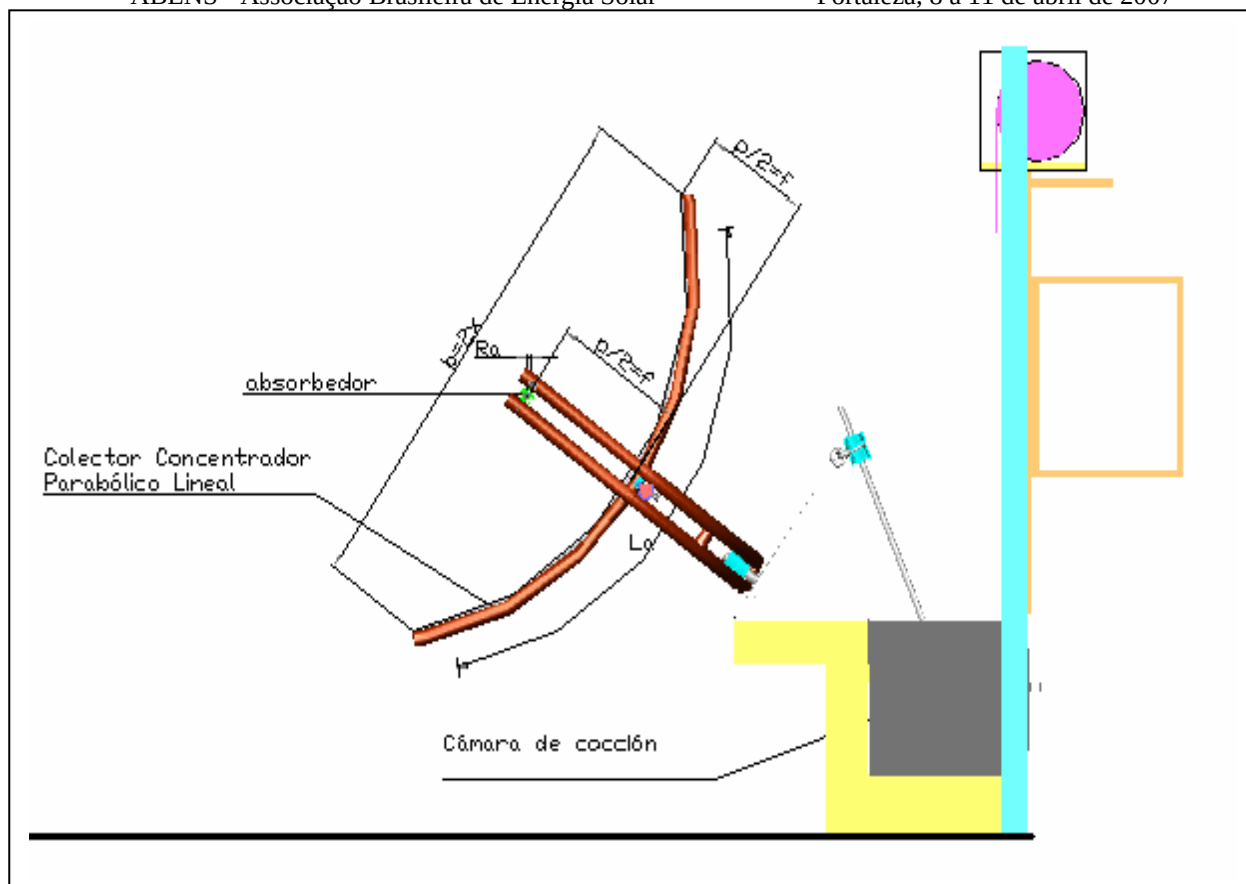


Figura 5 - Posicionamiento del conjunto CPL y absorbedor con una altura solar de 35°



Figura 6 – Vistas de las características físico-técnicas del CPL, del absorbedor con los sensores durante la campaña experimental 1 y del sistema de posicionamiento solar.

Además la etapa teórica y experimental descripta, ha permitido obtener los siguientes resultados:

- La variación de la concentración máxima $C_{\text{máx}}$ con los diferentes valores que toman los parámetros que están variando no es significativo.
- La longitud del arco de la parábola adoptada, coincide con la longitud de la chapa de acero inoxidable que es utilizada para la construcción del mismo. Resultando un área de apertura con una reducción de captación del 20 %, respecto de los dos metros cuadrados que posee la chapa descripta
- Considerando los tiempos promedios normales para realizar la cocción o procesamiento de alimentos diarios, la respuesta desarrollada permite captar la energía solar por un período de tiempo suficiente como para realizar horneados sin requerir reorientación.
- En su recorrido el fluido intercambiador de calor circula por diferencial térmico, desde el absorbedor a la cámara de cocción y viceversa.
- Las ubicaciones relativas entre el colector, el absorbedor y el sistema de posicionamiento, son esenciales para decidir el funcionamiento ergo-energético de todo el conjunto en relación a la altura de trabajo.
- Para el seguimiento del movimiento diurno del sol, el concentrador – absorbedor, se encuentra dispuesto hacia el norte, con el eje horizontal paralelo al eje este-oeste, alcanzando una altura de trabajo adecuada en su conjunto, fig.5.
- Para una mejor captación de la energía solar en la situación más desfavorable, el colector se lo ha estudiado inclinado respecto a la horizontal, con un ángulo igual a 58° , el cual responde a una altura solar a mediodía del mes más frío de 32° , fig.5.
- El CPL requiere de un control mensual o estacional respecto del posicionamiento solar. El control de su posicionamiento se ha diseñado con un alejamiento horizontal máximo de 60 cm., sobre una altura del orden de los 80 cm. respecto del nivel de piso, fig.6. Esta situación, facilita un buen trabajo de compatibilidad ergonómica interior de la cocina en relación a las mesadas de trabajo o alacenas. Y brinda un cómodo acceso a la cámara de cocción y a las necesidades tanto visuales como higiénicas durante el trabajo del cocinero solar.
- El absorbedor o receptor del CPL trabajando sin carga y sin aislarlo del ambiente exterior (vacío y separado del colector del CPL), alcanzó en 10 minutos los 150°C durante la campaña experimental del 13 de octubre del 2006 (período intermedio o primaveral), con una radiación solar de 800 watt/m^2 , temperatura ambiente de casi 30°C y viento moderado con destacadas ráfagas intermitentes. Para medir las temperaturas en el absorbedor se los dividió en dos partes mitad inferior (T. Absorbedor Abajo) y mitad superior (T. Absorbedor Arriba, fig.6. Se observó que durante la ausencia de ráfagas de viento el absorbedor alcanzó los 160°C .),fig.7.

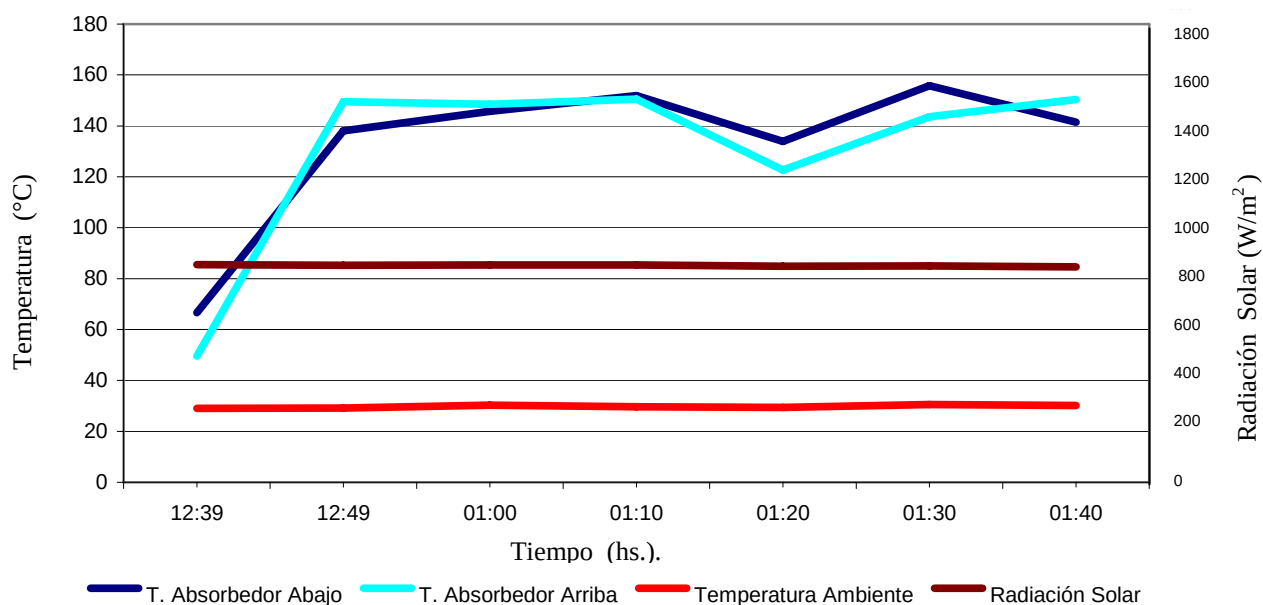
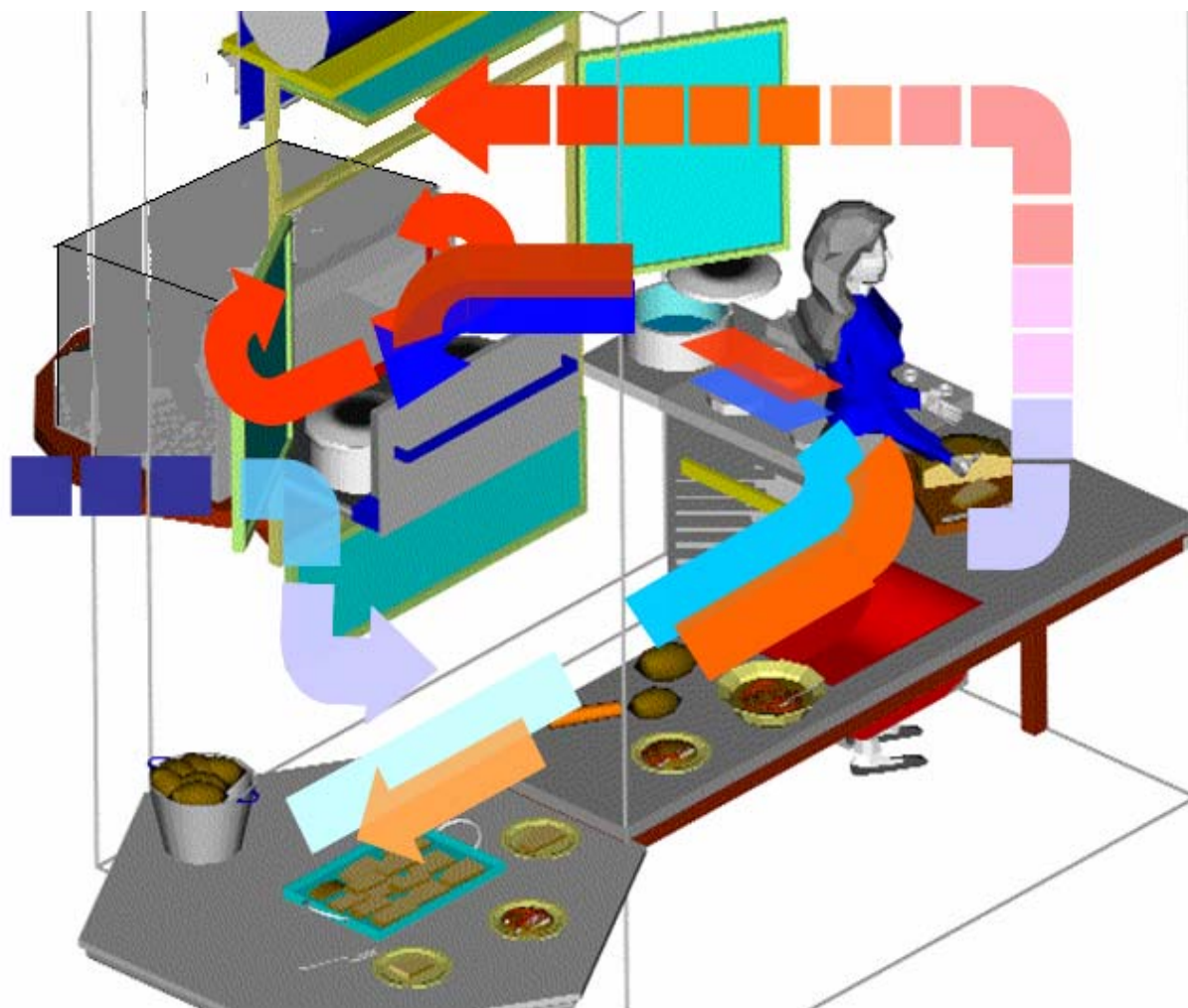


Figura 7 - Resultados de la experiencia 1, realizada el 13 de octubre del 2006

- Al facilitar la independencia del cocinero respecto a la cocción u horneado solar, permite que este desarrolle procesamiento de alimentos, considerando respuestas para una mejor calidad de vida en Salud, Economía y Ambiente, acordes a una evolución global de las cocinas contemporáneas, fig.8.



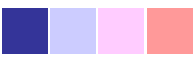
Referencias	Procesamiento del Alimento Cocinero	Respuestas en Salud, Economía y Ambiente
	Recorrido sobre mesada	Mayor Seguridad y Mayor Control de Posturas Incorrectas
	Recorrido Frío Corto	Mayor Eficiencia Doméstica
	Cocción y Horneado Adecuado	Mayor Eficiencia Térmica
	Recorrido Caliente Corto	Mínima Pérdida de Calor
	Producción de olores, vapores y calor	Mayor Control de Ventilación y Refrescamiento interior

Figura 8 - Respuestas Globales del Horno Solar de Ventana

3.3 Análisis Económico en relación a ambos hornos solares de ventana.

De acuerdo al análisis económico realizado, el sistema Concentrador Solar Parabólico Lineal (CPL) con cámara de cocción, resulta un 20 % más costoso que el Horno Solar Tipo Caja, considerando las superficies de colección solar total, área del plano de apertura o área de captación más la superficie reflectiva medida normal al haz directo, respectivamente, Tab. 3.

Tabla 3 - Análisis económico comparativo entre los hornos propuestos

Tipos	Colección solar total	Componentes	Parcial U\$S	Total U\$S
Horno Solar tipo Caja y mesa de reorientación	0.86 m ²	Caja horno y aislación térmica	167	468
		Mesa de reorientación	117	
		Ventana con soporte	150	
		Vidrio y superficie reflectiva	34	
Concentrador Solar Parabólico Lineal (CPL) y absorbedor con cámara de cocción.	1.78 m ²	Concentrador solar en acero inoxidable, estructura fijaciones	150	577
		Ventana con soporte	150	
		Cámara de cocción con aislación térmica	167	
		Columna de soporte y sistema de control	50	
		Cañerías y aislaciones	60	

4. CONCLUSIONES

Ambos sistemas Horno Solar tipo Caja o Sistema CPL con cámara de cocción, por sus características de funcionamiento pueden utilizarse en la cocción de alimentos desde el interior de la cocina de acuerdo a las necesidades del usuario, bajo un clima cálido y riguroso del ambiente exterior.

El Horno Solar tipo Caja presenta un bajo gradiente térmico entre los alimentos y el aire del interior, lo que hace que la transmisión de calor por convección para la cocción dentro del horno, sea lenta. Mientras que el Concentrador Solar Parabólico Lineal CPL con cámara de cocción, respecto al horno solar tipo caja, incrementa la cantidad de energía disponible dentro de la mencionada cámara, aumenta el gradiente térmico entre los alimentos y el fluido intercambiador de calor, a partir de obtener una mayor y más rápida temperatura disponible en el absorbedor del CPL.

En general el Horno Solar de Ventana busca brindar una respuesta integral en Salud, Economía y Ambiente, considerando a la cocina bajo la visión de la ergonomía preventiva moderna, la cual asegura no solo el funcionamiento técnico, sino también la comodidad para la concreción de costumbres actuales, como cocinar personas de cualquier edad y sexo o ya sea para reunirse a experimentar con la preparación de alimentos o para realizar mini-microemprendimientos productivos familiares, por lo tanto es necesario considerar la seguridad en los trabajos del operario aun bajo costo. Por lo tanto las características térmicas descritas anteriormente no representan ventajas ni desventajas y su aplicabilidad dependerá de las necesidades del usuario de Zonas Áridas, considerando su economía o rapidez en la preparación y cocción de los alimentos.

El estudio ergonómico que presenta este nuevo sistema, genera beneficios económicos al disminuir al máximo las dimensiones de los elementos intervinientes, lo cual produce una utilización racional de los mismos. Cuando los materiales seleccionados en la construcción de los dos sistemas son los adecuados, en general son de precios moderados. Demostrando que el estudio ergonómico oportuno, lleva a conseguir un sistema más económico.

Cabe destacar que el Concentrador Solar Parabólico Lineal CPL con cámara de cocción, asume un sobre costo de casi un 20 % más que el Horno Solar tipo Caja y brinda una mayor independencia, respecto al control del funcionamiento ergonómico diario del cocinero. Así, el estudio ergonómico de los sistemas propuestos llevan a concebir sistemas seguros y fácil de operarlos.

La evaluación global considerando relaciones entre diferentes disciplinas permite brindar soluciones ergonómicas y económicas que facilitan la aceptación del mismo por los usuarios y de las instituciones subsidiarias o financieras respectivamente.

Finalmente se sugiere que dentro del procedimiento de evaluación de la normativa de RICSA, se contemple la inclusión de las interrelaciones y compatibilidad entre condiciones a nivel global.

REFERENCIAS

- Buigues Nollens A.y Rojos E. (1995). Desarrollo y Construcción de Sistemas Alternativos de Cocción. Proceedings of the Second. World Conference on Solar Cookers, Use and Technology, pp.51-56 - Editor Shyam. S. Nandwany - Heredia, Costa Rica.
- Buigues Nollens A.y Rojos E. (2006). Respuestas Ambientales y Resultados Antropométricos de un Horno Solar en Zonas Áridas. Proceedings and CD of the Solar Cooking and Food Processing International Conference - Organizado por Terra Foundation y Solar Cookers International-Granada, España.
- Castell M. E de y Otros. (1998). Propuestas de procedimiento para la evaluación de las características físicas, ergométricas, de seguridad, de calidad de materiales y de mantenimiento de cocinas y hornos solares. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV) – CRICYT y Otros - Energías Renovables y Medio Ambiente. ASADES - Tucumán, Argentina.
- Chassériaux J. (1990). Conversión Térmica de la Radiación Solar - Librería Agropecuaria – 1ª. Edición - Buenos Aires, Argentina.
- Mondelo P. y Otros. (2003). Ergonomía 1 - Alfaomega – 3ª Edición - Ediciones UPC, Universitat Politècnica de Catalunya – Barcelona, España.

Abstract. *The aim of this paper is to determine the way in which the ergonomic and economic responses are linked to the energy the cook needs in poor areas to operate the two solar oven: box solar oven and linear parabolic concentrator (LPC) with oven.*

The method used considers the bibliographic survey and the analytical study on concentration from various points of view: geometrical, operational temperature, construction, follow-up, optical assembly and maintenance. A MATLAB software has been developed which enables the calculation of dimensions with different data related to the objective. The conclusions of this paper contribute to the procedure proposal for the evaluation of solar cookers and ovens carried out by the Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos (RICSAs) (Iberoamerican Network of Solar Cooking of Food) (INSCF).

Key words. *Interrelations - Ergonomics – Box Solar Oven - Solar LPC – Arid Areas*