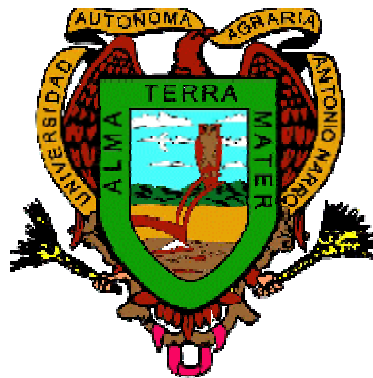


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**COMPARACIÓN DE LA POTENCIA DE COCCIÓN DE DISTINTOS MODELOS DE  
COCINA SOLAR  
TESIS**

**QUE PRESENTA**

**MARÍA TERESA VALLEJO MACÍAS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA**

**NOVIEMBRE DE 2011**

**“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**TESIS QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO**

**DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**APROBADA POR:**

**PRESIDENTE DEL JURADO**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO**

**VOCAL**


  
\_\_\_\_\_  
**ING. JOEL LIMONES AVITIA**

**VOCAL**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS**

**VOCAL SUPLENTE**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. GUILLERMO GONZÁLEZ CERVANTES**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas**

**TORREÓN, COAHUILA**

**NOVIEMBRE DE 2011**

**“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**COMPARACIÓN DE LA POTENCIA DE COCCIÓN DE DISTINTOS MODELOS  
DE COCINA SOLAR**

**POR**

**MARÍA TERESA VALLEJO MACÍAS**

**QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. COMITÉ DE ASESORÍA**

**ASESOR PRINCIPAL**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO**

**COASESOR**

  
\_\_\_\_\_  
**ING. JOEL LIMONES AVITIA**

**COASESOR**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS**

**COASESOR SUPLENTE**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. GUILLERMO GONZÁLEZ CERVANTES**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas**

**TORREÓN, COAHUILA**

**NOVIEMBRE DE 2011**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco inconmensurablemente a mis padres, Aurelio Vallejo Ramos y Martha Macías Cervantes, que me dieron la vida y me han enseñado a volar, por educarme con valores mediante el ejemplo y permitirme crecer en una linda familia, por sus cuidados y consejos. Agradezco que me enseñaran a luchar por lo que vale la pena, a ser servicial, y a intentar hacer una diferencia constructiva para dejar este mundo en mejores condiciones de cómo lo encontré. A mis hermanos, Jorge y a Paco, que me apoyan y demuestran su afecto aunque la distancia nos separe, que critican mis fallos y celebran mis triunfos, porque sus ideas enriquecen mi existencia. A Marco por ser un buen hermano mayor y ejemplo, pendiente siempre del bienestar de los pequeños, por explicarme amablemente lo que no entiendo y hacer equipo conmigo en los momentos difíciles, porque ¡somos los grandes! Gracias hermanos porque sin ustedes el universo que conozco no existiría.

A mi preciosa abuelita, Teresa Ramos, por las galletas que endulzaron mis días, por hacerme un espacio en su casa y darle sabor a hogar, por compartir conmigo sus conocimientos, su amor por la vida y su cariño, por ser ejemplo de fortaleza y autonomía, le agradezco infinitamente. A mis tíos Alejandra y Juan Vallejo les agradezco su tiempo, sus charlas y sus atenciones. Agradezco a mis tíos, Raúl e Hilda, que me apoyaron durante las prácticas y a María José Díaz por ser la mejor prima sin previo aviso y hacerme sentir en casa estando lejos.

A Eduardo Salinas Macías, a Laura Hernández Hernández, a Madeleine Cornish Piña, a Victoria Blanquet Meza, a Berenice Jiménez Chávez y a Angelina Hernández Román, por seguir siendo parte de mi vida y ser los mejores amigos. A José Gerardo Cárdenas Morón, que me brindo extensa ayuda al construir las cocinas solares, siempre pendiente de mí, por sus atenciones y cuidados, por ser apoyo y motivación,

A la UAAAN que me permitió conocer excelentes personas que han dejado huella en mi vida. Agradezco a Karen Dennisse Macías Esparza, valiosa amiga, por darme siempre un poco de su tiempo, por tantos días felices y momentos de complicidad. A Brenda Guadalupe Cervantes Gramillo por ser gran amiga, aventurera, que me invita a descubrir el mundo mostrándome facetas que por mi sola no vería. A Iliana Verónica Rodríguez Espinoza por su gran amistad e inquebrantable buen humor, por amenizar los momentos de estrés con un buen chiste y una sonrisa. A Misael Osorio Martínez por ser tan buen amigo, por su franqueza y estoicismo. A Gerardo Lugo Villareal, le agradezco la confianza y gran amistad, su liderazgo, su paciencia, el interés que muestra en hacer bien las cosas, la presión ejercida sobre mí para ser los mejores. A Alber Andrés Ramos Sánchez le doy gracias por enseñarme que la primera impresión no siempre es la correcta y que basta un corazón para querer. A Edgar Paul Ramírez López por ser ejemplo de superación y buen amigo. A Roberto Zivec Gaxiola, que apareció bizarramente, le doy las gracias por darme el último gran empujón.

Agradezco infinitamente a los profesores que se prepararon día con día para instruirme y que además de conocimientos impartieron valores. Al Ing. Luis Bazaldua Zurita (D.E.P), al Dr. Mario García Carrillo, al M.C. Ignacio A. Guzmán Cedillo, a la Ing. Rubí Soto Muños, al Ing. Roberto Cazares, al Dr. Eleno Hernández Martínez y al M.C. Edgardo Cervantes Álvarez. A la M.C. Amanda Jaramillo Santos y al M.C. Héctor Montaña Rodríguez, por enseñarme a no perder la objetividad. Agradezco al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos por hacer las clases prácticas, ser paciente y tener siempre la disposición de prestarme su atención. Al M.C. José Luis Ríos González por creer en mí y protegerme cuando más lo necesite, le ofrezco mi más sincero agradecimiento. Agradezco a quienes se esforzaron por sacar lo mejor de mí, al Dr. Vicente De Paul, al Dr. Alejandro Moreno Reséndez y al M.C. José G. González Quirino, por que lograron que deseara ser mejor persona. A Consuelo Macías Esquivel, que siempre ha dado el

mejor de los tratos. Les agradezco Biol. Iban Corzo y Dr. Alfredo Villalobos Jauregui que me permitieron trabajar a su lado. Al Ing. Oscar Ramos Campos por su tiempo y sus acertadas observaciones. Al Ing. José C. Montes que me prestó su atención y consejo respecto a la presente tesis. Le doy las gracias enormemente al Dr. Guillermo González Cervantes por su amabilidad y motivación, por admitirme trabajar en la estación meteorológica, dispuesto en todo momento a responder mis dudas y orientarme. Al Ing. Joel Limones Avitia, por la toda la ayuda y la motivación constante durante el proceso de investigación. Finalmente al Dr. José Luis Reyes Carrillo, que con atención y paciencia me guió en esta aventura, gracias por creer en mí, por orientarme, ayudarme siempre que me atoraba y sobre todo por las palabras precisas en el momento oportuno, le agradezco de corazón.

	Índice	Pág.
Resumen		
Introducción		1
Objetivo		9
Revisión literaria		10
La cocina solar		10
Principios de calor		13
Ganancia de calor		13
Pérdida de calor		17
Almacenamiento de calor		21
Distribución geográfica de la radiación solar		22
Trayectorias aparentes del sol		24
Elementos comunes constitutivos de las cocinas solares		26
Materiales para la estructura		26
Reflectores		27
Absorbedor		28
Cubierta		28
Aislamiento		29
Resistencia a la humedad		30
Tipos de cocina solar		32
Cocina solar de acumulación		32
Cocina solar de concentración		35
Cocina solar indirecta		36
Ventajas de la cocina solar		38
Desventajas de la cocina solar		42
Seguridad alimentaria en la cocción		43
Manejo de la cocina solar		45
Evaluación de la funcionalidad de una cocina solar		47
Norma ASAE S580 de la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos		47
Bases para la oficina del modelo de prueba estándar de la India		48
Prueba estándar del Comité Europeo para la Investigación de la Cocina Solar		48
Materiales y métodos		50
Resultados		52
Discusión		64
Conclusiones		67
Literatura citada		68

## Índice de Cuadros

	Pág.
Tabla 1. Temperaturas mínimas internas recomendadas para algunos alimentos y tiempo mínimo requerido para la eliminación de patógenos (Macia, 2005).	43
Tabla 2. Tabla comparativa 10-11-2010	56
Tabla 3. Tabla comparativa 11-11-2010	59
Tabla 4. Tabla comparativa 16-11-2010	63
Tabla 5. Comparación de los promedios	63

## Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Ángulo apropiado del reflector para diferentes ángulos de incidencia (Shyam, 2007).	16
Figura 2. Espectro Electromagnético (Solís, 2005).	18
Figura 3. Debido a los efectos reflexión, refracción y absorción, no toda la radiación proveniente del Sol llega a la tierra como radiación directa (Solís, 2005).	20
Figura 4. Posición e inclinaciones de la Tierra en las diferentes estaciones del año (Solís, 2005).	22
Figura 5. Trayectorias aparentes (Solís, 2005).	25
Figura 6. Dispositivos de izquierda a derecha: "Box Cooker-1", "Wall Oven", "Testigo", "ROB" y "Cookit".	52
Figura 7. Ensayo de la potencia del dispositivo "Box Cooker - 1". 10/11/10	53
Figura 8. Ensayo de la potencia del dispositivo "Wall Oven". 10/11/10	54
Figura 9. Ensayo de la potencia del dispositivo "ROB". 10/11/10	54
Figura 10. Ensayo de la potencia del dispositivo "Cookit". 10/11/10	55
Figura 11. Ensayo de la potencia del dispositivo "Testigo". 10/11/10	55
Figura 12. Ensayo de la potencia del dispositivo "Box Cooker - 1". 11/11/10	57
Figura 13. Ensayo de la potencia del dispositivo "Wall Oven". 11/11/10	57
Figura 14. Ensayo de la potencia del dispositivo "ROB". 11/11/10	58
Figura 15. Ensayo de la potencia del dispositivo "Cookit". 11/11/10	58
Figura 16. Ensayo de la potencia del dispositivo "Testigo". 11/11/10	59
Figura 17. Ensayo de la potencia del dispositivo "Box Cooker - 1". 16/11/10	60
Figura 18. Ensayo de la potencia del dispositivo "Wall Oven". 16/11/10	61
Figura 19. Ensayo de la potencia del dispositivo "ROB". 16/11/10	61
Figura 20. Ensayo de la potencia del dispositivo "Cookit". 16/11/10	62
Figura 21. Ensayo de la potencia del dispositivo "Testigo". 16/11/10	62



## **RESUMEN**

En este trabajo se presenta el estudio de la potencia de cocción de varias cocinas solares basado en la norma internacional ASAE S580. El protocolo indica los ensayos y condiciones necesarias para evaluar el rendimiento térmico de cada cocina. Las cuatro cocinas se evaluaron simultáneamente bajo condiciones reales, durante el mes de noviembre del 2010. La cocina solar “ROB” es la que resulta con mayor potencia de los cuatro modelos comparados. Le sigue “Cookit”, “Box-Cooker” y finalmente “Wall oven”. Los resultados obtenidos demuestran que las cocinas de concentración logran mayor potencia y que cocinas solares, fabricadas con materias de bajo costo y asequibles, son capaces de obtener las temperaturas necesarias para la cocción de los alimentos.

**PALABRAS CLAVE:** Energía, Potencia de cocción, ASAE s580, Temperaturas, Evaluación

## INTRODUCCIÓN

La historia del hombre ha sido en parte la historia de sus intentos por captar la energía. Poco a poco, a lo largo de la historia, los trabajos más duros fueron arrancados de las espaldas humanas y se fueron cargando sobre los músculos incansables de las maquinas; el aprovechamiento de nuevas fuentes de energía dejó a los hombres en libertad para dedicarse a las tareas de la mente. Sin embargo, pocas personas se dan cuenta de que el alto nivel de bienestar alcanzado por la humanidad, es consecuencia de la creciente cantidad de energía de la que el hombre dispone; y de que, esta energía puede llegar a faltar. El hombre ha utilizado, sucesiva y escalonadamente, distintas formas de energía. Fue primero, la fuerza muscular humana, para controlarla y disponer de ella en grandes cantidades, se dieron crueles y espantosas matanzas. La mano de obra de los prisioneros de guerra y de los esclavos fue en ciertas épocas la única fuente de energía barata de que disponían los poderosos (CCC, 1982).

Durante milenios no contó el hombre con otra fuente de energía utilizable inmediatamente que no fuese su propia musculatura para cazar, pescar, machacar granos alimenticios, transportar cargas y otras tareas vitales (Altshuler, 2004). Después, la domesticación de los animales, fue una buena aportación como ayuda de tiro, de carga y de transporte (CCC, 1982). Se cree que un paso importante en la evolución humana fue la socialización del fuego hace unos 300.000 años (Roca y Miralles, 2002). El fuego no sólo le servía al

hombre para protegerse del frío, espantar a las fieras y alumbrarse de noche, sino también para cocinar algunos alimentos a fin de hacerlos más digeribles y para alcanzar un consumo más elevado de proteína animal (Altshuler, 2004). Así como el acceso a sustancias nutritivas que contribuyeron al desarrollo de la inteligencia, especialmente, durante las primeras fases de la vida humana. Desde entonces estamos ligados a la cocción de alimentos.

Con la socialización del barro, hace unos 10.000 años, se dio un nuevo paso en cuestión de alimentación por el hecho de poder hervir y freír. Históricamente, el fuego ha sido la fuente de energía básica para cocinar, y no fue hasta el siglo XIX que se incorporaron otros combustibles diferentes a la leña. Además, no ha sido hasta mediados del siglo XVI que se introducen los hornos y las cocinas para mejorar la eficiencia calorífica de la leña. De la energía del fuego a tierra sólo un máximo del 10 % se aprovecha para cocinar, puesto que el resto se disipa. En otras palabras, la energía que nos aporta la leña mayoritariamente se pierde y, por esta razón, se necesita una gran cantidad de leña para cocinar un poco de alimento (Roca y Miralles, 2002).

Para llegar a otro gran aporte tenemos que hacer un salto en el tiempo hasta la etapa donde el hombre descubre el uso de los metales (hace 3500 años), lo cual le permitió crear y obtener un mayor número de utensilios. En todo este período la leña fue el combustible más usado (Ceuta, 2006).

En la Edad Media era muy popular un asador giratorio. Este aparato fue perfeccionado en el 1400 por Leonardo Da Vinci y funcionaba con el aire caliente que ascendía por la chimenea. En 1679 el físico y matemático anglo-francés Denis Papin presenta en sociedad su invento precursor de la olla a

presión. En aquel momento no tuvo éxito debido a aspectos relacionados con la tecnología y la seguridad (Ceuta, 2006).

La era industrial comienza en el siglo XVIII en Inglaterra con la invención de las máquinas de vapor, esta época queda marcada por el uso del carbón. Pero a finales del siglo XIX, las fuentes de energía no vivas se van diversificando (CCC, 1982). Hacia 1850, Samuel Kier, comenzó a destilar el petróleo que descubrió cuando perforaba un pozo de sal y lo ofreció como aceite iluminante. La difusión de la lámpara de aceite que utilizaba queroseno en lugar de aceites de origen animal contribuyó a expandir el uso del petróleo y propició la búsqueda de nuevos yacimientos. De este modo, el “jugo de la tierra” se convirtió en un producto comercial con demanda creciente. Edwin L. Drake, es considerado el iniciador de la era moderna del petróleo, pues en agosto de 1859 perforó el primer pozo dedicado exclusivamente a la extracción de crudo en Pensilvania (Álvarez, 2005). Hacia 1880, se comienza en los Alpes a captar la energía hidráulica, que hasta entonces significaba solamente fuerza mecánica que movía las ruedas de los molinos, para transformarla en electricidad (CCC, 1982).

Los primeros hornos solares datan de finales del siglo XVII. En concreto, E. W. Von Tschirnhausen construyó en Dresde (Alemania) un horno con un espejo cóncavo de 1.6 m de diámetro para cocer el barro para hacer cerámica. En 1774 el científico inglés Joseph Priestley, descubridor del oxígeno, construyó un horno solar con una lente de un metro de diámetro que conseguía 1,700 °C y permitía fundir el platino (Roca y Miralles, 2002). El primer colector plano para aprovechar el calor solar fue diseñado por Horace de Saussure, un naturalista

suizo que experimentó en 1767 con el efecto físico del calentamiento de una caja negra con tapa de vidrio expuesta al Sol (Urbano *et al.*, 2010). Las experiencias de Saussure, son relevantes porque observó que cuando estas cajas se exponían al Sol la temperatura aumentaba en el interior de cada una de ellas hasta el punto de poder conseguir una temperatura de más de 85 °C que permitía cocer fruta. Más adelante, experimentó con nuevas cajas hechas con madera y corcho negro y, al exponerlas al Sol, la temperatura alcanzó los 100 °C.

Sin embargo, aislando el interior de la caja a base de intercalar lana entre las paredes de la caja caliente la temperatura alcanzó los 110 °C, incluso, cuando la temperatura ambiental no era nada favorable. Eso, le hizo cuestionarse si la radiación solar en una montaña donde el aire era más transparente podría atrapar menos calor. Para verificar su hipótesis, Saussure subió a un pico suizo y constató que, a pesar de que la temperatura exterior era de 1 °C, dentro de la caja caliente se superaban los 87 °C, y cuando la temperatura ambiental alcanzaba los 6 °C, porque descendía hacia el llano, en el interior de la caja se mantenía el mismo calor. Saussure predijo que “algún día este ingenio, que actualmente es pequeño, barato y fácil de fabricar, puede ser de gran utilidad”. Este científico había tenido una visión, a pesar de que sus experimentos quedaron en el olvido durante cerca de medio siglo (Roca y Miralles, 2002; Vázquez, 2010).

Hacia 1830 el astrónomo inglés John Fredrick Herschel, en una expedición al Cabo de Buena Esperanza en Sudáfrica, también experimentó con una caja solar, las paredes de la cual estaban pintadas de negro y la tapa era de vidrio.

De hecho, las motivaciones de Herschel eran más por motivos lúdicos que científicos (cocinó un huevo duro haciendo hervir el agua con el Sol). En la Exposición Mundial de París de 1878, el científico francés Auguste Mouchot, exhibió una estufa solar y un motor solar que utilizaba un colector en forma de cono truncado de 2,2 m de diámetro. Este motor, se integró a la prensa de una imprenta con la cual más tarde se editaría la revista *Le Journal du Soleil*.

Por estas mismas fechas, el inglés William Adams experimentó en la India con una cocina hecha de espejos planos dispuestos en forma de pirámide invertida. La reflexión de dichos espejos dirigía a una campana cilíndrica en el interior de la cual estaba el recipiente con los alimentos. El punto final lo puso el astrofísico americano Samuel Pierpont Langley, un estudioso de la radiación solar. En una expedición científica, en 1882, al Monte Whitney de California, observó que un recipiente de vidrio conservaba todo el calor de los rayos solares. Langley, a pesar de encontrarse en medio de la nieve, describió cómo su caja caliente hacía hervir agua y apuntó la propiedad del vidrio como productor del efecto invernadero. Con esta última aportación, la cocina solar dejaba de ser una curiosidad científica. También, existen referencias de un restaurante chino que en 1894 servía comida cocinada con el Sol. Incluso se habla de algún capitán de barco que se había hecho construir un horno solar para utilizarlo en sus viajes transoceánicos (Roca y Miralles, 2002).

Más allá, de estos referentes, la verdadera pasión y desarrollo de las cocinas solares se inicia a mediados del siglo XX. De esta época data la construcción de hornos solares utilizando la técnica de la pirámide invertida de Adams, por parte de la Ingeniera Mary Telkes en la India y que tuvieron una

notable aceptación en las zonas rurales de este país con decenas de miles de entregas.

Sin embargo, la cocina solar no adquirirá una fuerza importante hasta a partir de la crisis energética de 1973. El último impulso cabe atribuirlo a la convicción de las Naciones Unidas de utilizar la cocina solar como una herramienta para aligerar el sufrimiento en los campos de refugiados producto de los conflictos bélicos en diferentes lugares del planeta (Roca y Miralles, 2002).

La subida espectacular del petróleo que, entre finales de 1973 y 1975, multiplico su precio por más de cuatro, puso en evidencia la fragilidad e inconsistencia de un modelo industrial basado en la utilización exclusiva de energías no renovables, energías que podemos llamar “stock”, o lo que es lo mismo, el capital acumulado por la naturaleza a lo largo de los miles de años; carbón, petróleo, gas (CCC, 1982).

En muchos países los combustibles fósiles han venido a tomar el relevo de la leña de antaño, pero aun en muchas zonas, ésta es la única fuente de energía térmica. Debido a ello, la provisión de leña condiciona la localización e incluso el tamaño de las ciudades en función del entorno proveedor de la madera de los bosques cercanos o de otras fuentes de biomasa (García, 2002).

Por otro lado, se ha ido tomando conciencia del importantísimo papel que juega la variable ecológica, al reconocerse que, de continuar la quema acelerada de combustibles fósiles, se producirían catástrofes mundiales que simplemente acabarían con nuestra civilización. El continuo aumento detectado

en los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y la destrucción de su capa de ozono son algunos de los fenómenos que más alarman a los científicos (Rincón, 1999).

La creación de una conciencia acerca de la problemática ambiental ha llevado a una creciente aceptación de la necesidad del ahorro de energía y de la implantación de sistemas energéticos seguros y no contaminantes. Se trata de una tarea para el futuro cuya solución no puede provenir solamente de los avances de la ciencia, aunque éstos sean parte de la solución. La otra condición para ello, reside en la formación de una voluntad política en millones de personas preocupadas por el futuro, y que se vuelven cada vez más conscientes que no se trata solamente de aumentar la disponibilidad de energía y de bienes materiales sino de asegurar una adecuada calidad de vida (Schoijet, 2002).

Alrededor de 28 millones de mexicanos comen alimentos guisados con leña (Urbano *et al.*, 2010) (a nivel mundial son unas 2 mil millones de personas las que se alimentan con comida cocinada con leña). El resto, comen alimentos cocinados con gas L P o gas natural. Cientos se accidentan cada año por quemaduras, intoxicaciones y explosiones (Rincón *et al.*, 2007). Dado que una parte importante de la cocina necesita energía a bajas temperaturas, en general, las cocinas solares ofrecen una alternativa de solución para tales requerimientos de energía térmica (Pohekar, 2005). Se presentan como la solución idónea para estos problemas, a la par ofrecen otros campos de utilización, siempre con el carácter favorable tanto desde el punto de vista ecológico como económico (García, 2002).



En la actualidad, la civilización urbana de los seis mil millones de hombres que pueblan la tierra, no es concebible sin el aprovechamiento de fuentes de energía cada vez mayores. Puesto que cada fuente de energía sirve para captar otras, podemos razonablemente considerar que la construcción y explotación de una industria solar a gran escala, exigirá durante algunos decenios de las energías citadas anteriormente (CCC, 1982).

Los principales obstáculos, para el desarrollo y promoción de la cocina solar, han sido los bajos precios y comodidad que ofrecen los electrodomésticos convencionales utilizados actualmente, los cuales hacen uso de los combustibles fósiles y nucleares. El hacer uso de los recursos y las fuentes de energía renovables en la vida cotidiana, requiere conocer el entorno, los recursos que ofrece, y ajustar nuestros hábitos a ellos (Solís, 2005).

Las cocinas, hornos, secadores y destiladores que emplean energías renovables como fuente de energía, son poco utilizados en la sociedad moderna y la mayoría son diseñados y pensados para comunidades de países en vías de desarrollo. Estos dispositivos son distribuidos principalmente en proyectos de cooperación llevados a cabo en comunidades de bajos recursos económicos o en las que la leña es un bien cada vez más escaso. También se utilizan en pequeñas comunidades y grupos de personas comprometidas con la búsqueda de opciones más respetuosas con el medio ambiente (Solís, 2005).

Por lo tanto, se busca determinar que cocinas solares, fáciles de construir y realizables con materiales de bajo costo, son más eficientes térmicamente. Se espera que las cocinas de concentración logren una potencia de cocción mayor que las de acumulación.

## **OBJETIVO**

El presente trabajo tuvo por objeto construir, con materiales de bajo costo, cuatro dispositivos de cocina solar para determinar la potencia de cocción de cada modelo y compararlos.

## REVISIÓN LITERARIA

### LA COCINA SOLAR

Actualmente, un tercio de la humanidad depende de la leña para cocinar. El tradicional fuego a tierra rinde alrededor de un 5 por ciento y el horno de leña aprovecha un máximo de un 25 por ciento del calor de la madera seca. Las cocinas de gas natural o vitrocerámicas actuales permiten aprovechar hasta un 30 por ciento. Con una cocina solar podemos conseguir eficiencias de prácticamente el 50 por ciento. Existen diferentes tecnologías, pero en todas ellas se obtienen temperaturas idóneas para la cocción saludable de los alimentos, porque a partir de 70 °C todos los microorganismos mueren y las proteínas empiezan a coagularse, iniciándose la cocción (Roca y Miralles, 2002).

Una cocina solar es un dispositivo que permite cocinar los alimentos con la energía del sol como combustible (SCI, 2004; Ceuta, 2010; Cuevas et al., 2008; Terrés *et al.*, 2008). La cocción lenta producida por la cocina solar es diferente a la producida por cocinas de fuego a tierra, pero las diferencias son agradables, puesto que, se conserva el sabor, la humedad y los nutrientes, y hace carnes tiernas (SCI, 2004).

Estudios recientes indican que los alimentos cocidos a temperaturas moderadas pueden ser más saludables (SCI, 2004). Una cocina solar necesita

luz directa del sol para poder trabajar correctamente, en condiciones de cielo totalmente despejado la cocción por lo general tarda más tiempo que en un fuego. En días nublados o lluviosos una cocina solar funciona incluso más lento o no funciona en absoluto, dependiendo de las condiciones.

El viento retarda la cocción solar hasta cierto punto, un fuerte viento podría hasta poner una olla al revés, por lo tanto es aconsejable disponer de un cerco o barrera que frene el viento. Al medio día y en las estaciones luminosas del año la radiación solar es superior (TLF, 1998). La cocina solar ofrece un sistema simplificado para cocinar con un total ahorro de dinero al no necesitar ningún aporte de combustible u otra fuente de energía que no sea la luz solar directa, libre y gratuita. Todo ello va acompañado de otras múltiples ventajas como son: mayor seguridad en la operación y calidad nutricional de los alimentos cocinados pues al no manejar fuego, no se generan humos ni dióxido de carbono, y además se mejoran las condiciones medio ambientales tanto locales como generales. A su vez, las cocinas de acumulación (hornos solares o cajas solares) permiten una cocción de los alimentos con un mayor mantenimiento de sus contenidos nutricionales. También en estas últimas cocinas se obtiene una mayor disponibilidad de tiempo porque es posible ausentarse del lugar durante el proceso de cocción de los alimentos (García. 2002).

Tres principios básicos son empleados en la fabricación y uso de las cocinas solares tipo caja. El primero expresa que, cuando la radiación solar (luz solar) golpea una superficie oscura, esta cambia a radiación infrarroja (calor). El segundo señala que, cuando la luz incide sobre las superficies de color claro o

brillante es reflejada, por lo que puede ser dirigida a donde más se necesita. Y el ultimo indica que, la radiación solar (luz solar) pasa a través de una ventana transparente con facilidad, pero la radiación infrarroja (calor) no lo hace, por lo que el calor puede ser atrapado (Kerr, 1991).

Este sistema de aprovechamiento de la energía solar a través de su captación económica y sencilla introduce favorables condiciones en distintos ámbitos sociales (García. 2002). Hornos solares hechos con cajas de cartón, aluminio, papel de diario, y un pedazo de vidrio llegan a adquirir temperaturas de trabajo entre los 225 y los 270 °F (107-135 °C). Un horno solar, representa el mejor ejemplo práctico del efecto invernadero, atrapando el calor de la luz solar. Este tipo de horno cocina prácticamente todo lo que cocina un horno en la casa, pero emplea más tiempo para hacerlo, en general, toma alrededor del doble de tiempo, pues cocinan "a fuego lento". Usando una cacerola de color oscuro (negro es lo ideal) se pueden poner los ingredientes por la mañana y todo estará cocinado hacia el atardecer, sin tener que preocuparse de que esté sobre-cocido o frío, ya que el calor acumulado permanece por largo tiempo mientras el horno se mantenga cerrado (EPSEA. 2007).

## PRINCIPIOS DE CALOR

El propósito básico de una cocina solar es calentar cosas, cocinar comida, purificar el agua y esterilizar instrumentos por mencionar unos pocos. Una cocina solar, cuece porque el interior de la caja se ha calentado por la energía del sol. La luz solar, tanto directa como reflejada, entra en la caja solar a través de la parte superior de cristal o de plástico. Calienta el interior siendo la energía absorbida por la plancha negra y cocina lo que hay dentro de las ollas. Este calor en el interior causa que la temperatura dentro de la cocina solar aumente, hasta que el calor que se pierda de la cocina sea igual al aumento del calor solar. Fácilmente se logran temperaturas suficientes para cocinar comida y pasteurizar agua (Eiloart, 1996).

### Ganancia De Calor

Efecto invernadero: éste efecto es el resultado del calor en espacios cerrados en los que el sol incide a través de un material transparente como el cristal o el plástico. La luz visible pasa fácilmente a través del cristal y es absorbida y reflejada por los materiales que estén en el espacio cerrado. La energía de la luz que es absorbida por las ollas negras y/o la plancha negra debajo, se convierte en energía calorífica que tiene una mayor longitud de onda,

e irradia desde el interior de los materiales. Gran parte de esta energía radiante, a causa de esta mayor longitud de onda, no puede atravesar el cristal y por consiguiente es atrapada en el interior del espacio cerrado. La luz reflejada se absorbe por los otros materiales en el espacio o atraviesa el cristal si no cambia su longitud de onda. Debido a la acción de la cocina solar, el calor que es recogido por la plancha y las ollas de metal negro absorbente, es conducido a través de esos materiales para calentar y cocinar la comida (Eiloart, 1996).

Cuando la porción de energía que se absorbe, por la lámina oscura, es mayor que la reflejada, se dice que la superficie es “buen absorbedor” y cuando la parte de energía reflejada es mayor que la que se absorbe, se dice que la superficie es “buen reflector”. Cuando una superficie absorbe todas las radiaciones luminosas en todas las longitudes de ondas, se dice esta superficie es un “cuerpo negro”, como es el caso de una superficie pintada con color negro mate, la cual absorbe cerca del 96 al 98 por ciento de la radiación luminosa. Debido a que queremos que la superficie dentro del horno solar, capte la máxima radiación solar y otra superficie fuera del horno, rebote la máxima radiación solar hacia la placa absorbidora, usamos dentro del horno la lámina captadora pintada de color muy oscuro y lámina fuera muy brillante como papel aluminio o espejo (Shyam, 2007).

Se ha observado que cuerpos que son buen absorbedor de la radiación son también buen emisor de la radiación/calor. Por lo tanto, cuando esta superficie absorbe toda la radiación solar se calienta entre 100 - 150°C. Una vez que calienta esta lámina, según la ley de Kirchoff, va emitir (o perder) más energía en forma de calor hacia al ambiente, la cual bajaría la temperatura de la placa.

Por lo tanto, para minimizar esta inconveniencia usamos aislante del calor dentro de la caja del horno (Shyam, 2007).

Es recomendable poner algún material transparente sobre la caja, sea vidrio (preferiblemente) o plástico (Shyam, 2007). Cuanto más directamente se encare el cristal al sol, mayor será la ganancia del calor solar (Eiloart, 1996).

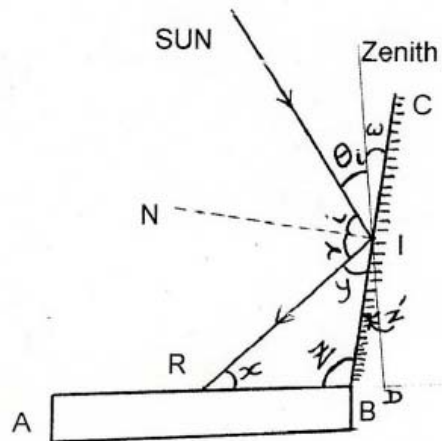
Uno o múltiples reflectores hacen rebotar una luz solar adicional a través del cristal y dentro de la caja solar. Una mayor entrada de energía solar, produce temperaturas más altas en la cocina (Eiloart, 1996). La luz que viaje en la línea recta cuando incide sobre una superficie reflectora puede cambiar su trayectoria conforme dos leyes del Reflexión:

Según la primera ley de reflexión, si la luz o energía incide sobre una superficie a un ángulo  $\theta_i$  (ángulo de incidencia, medida a partir del normal), éste, será rebotado (reflejado) a un ángulo  $\theta_r$  (ángulo de reflexión, también medidos del normal) igual al ángulo de incidencia.

Ahora bien, la segunda ley de reflexión, las tres líneas- rayos incidente, rayos reflejados y rayo normal están en el mismo plano.

Es bien conocido, que la dirección de rayos solares sobre la superficie reflectora, siguen cambiando su dirección continuamente, por lo tanto, para aprovechar máxima la radiación solar sobre superficie absorbente, es muy importante variar el ángulo del reflector en tal forma, que ángulo del incidencia sea igual al ángulo del reflexión. Supongamos que AB es la superficie del vidrio y BC es el reflector cuyo ancho es el mismo que del vidrio, figura 1 (Shyam 2007).





**Figura 1. Angulo apropiado del reflector para diferentes ángulos de incidencia (Shyam, 2007).**

A cualquier momento (hora del día), SUN es la dirección del rayo incidente (Angulo de incidencia partir del Cenit es  $\theta_i$ ) sobre el reflector BC. Nuestro objetivo es ajustar el ángulo del reflector ( $Z$ , a partir del horizontal) de tal forma que el rayo reflejado llegue sobre el vidrio AB. Se puede mostrar que:

$$Z = (2/3) \cdot (180 - \theta_i)$$

Cuando  $\theta_i = 0$  (casi medio día),

$$Z = 120^\circ$$

Para cualquier otra hora ( $\theta_i \neq 0$  o  $\theta_i > 0$ , antes o después de medio día),  $Z$  será menor que  $120^\circ$  (Shyam, 2007).

## Pérdida De Calor

La Segunda Ley de la Termodinámica, plantea que el calor siempre viaja de lo caliente a lo frío. El calor dentro de una cocina solar se gana y se pierde por tres vías fundamentales: conducción, radiación y convección (Eiloart, 1996; Ouannene *et al.*, 2009).

### Conducción

El asa de una olla de metal puesta en una cocina o fuego, se calienta gracias a la transferencia de calor desde el fuego a través de los materiales de la cacerola hacia los materiales del asa. En el mismo sentido, el calor dentro de una cocina solar se pierde, cuando viaja a través de las moléculas de las hojas de aluminio, el cristal, el cartón, el aire y el aislamiento, hacia el aire fuera de la caja. La chapa absorbente calentada por el sol, conduce el calor a la parte inferior de las cacerolas. Para prevenir la pérdida de este calor vía conducción a través de la parte inferior de la cocina, la chapa absorbente se eleva de la parte inferior, utilizando pequeños espaciadores aislantes (Eiloart, 1996).

## Radiación

La energía proveniente del sol viaja en forma de ondas electromagnéticas las cuales no requieren ningún medio para propagarse, en el vacío, viajan con una rapidez de 300.000 km/s. Las ondas electromagnéticas se clasifican según su longitud de onda, esta clasificación la podemos ver en el espectro electromagnético (figura 2). Al igual que el Sol, todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación en virtud de su temperatura (Solís, 2005).

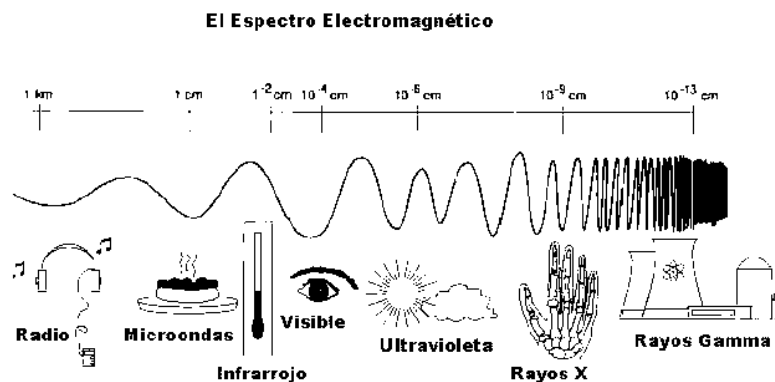


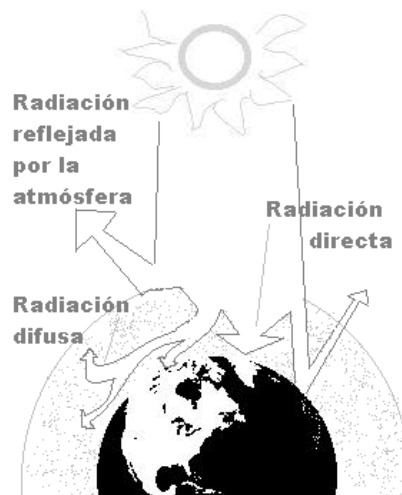
Figura 2. El Espectro Electromagnético.

**Figura 2. Espectro Electromagnético (Solís, 2005).**

A mayor temperatura la intensidad de la emisión es mayor y el tipo de radiación cambia hacia una menor longitud de onda. Aunque el Sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio, prácticamente toda su radiación es radiación térmica, que corresponde a una radiación que va desde el ultravioleta ( $\sim 0,1 \mu\text{m}$ ) hasta el infrarrojo lejano ( $\sim 100 \mu\text{m}$ ) pasando por la radiación visible. En el

camino del Sol a la Tierra, las ondas apenas sufren cambios porque se desplazan en un medio sin materia; al llegar a la atmósfera terrestre (donde se encuentra con polvo, vapor de agua, polución, aerosoles, dióxido de carbono y otros gases), la radiación solar sufre de ciertas transformaciones debidas a los efectos de reflexión, refracción y absorción. Hablando en términos generales, podemos decir que en un día claro (sin nubes y contaminación) la radiación que llega a la superficie es aproximadamente 3 por ciento de ultravioleta, 57 por ciento visible y el 40 por ciento infrarrojo. Además de los gases que conforman la atmósfera terrestre, la radiación encuentra diferentes “obstáculos” que hacen variar su intensidad. Las nubes, por ejemplo, desvían los rayos solares y provocan que la intensidad de éstos al llegar a la superficie terrestre sea menor. A partir de estos fenómenos podemos clasificar a la radiación solar, como radiación directa o difusa (figura 3) (Solís, 2005).

- a. La radiación directa, es la radiación solar que llega en línea recta a la superficie de la tierra sin haber sido difundida por la atmósfera; forma sombras definidas ante algún obstáculo y puede enfocarse por medios ópticos (Solís, 2005).
- b. La radiación difusa, es radiación solar que se dispersa al atravesar la atmósfera por causa de moléculas de aire, vapor de agua, polvo, etc., de tal modo que llega a la superficie de la tierra como si procediera de todo el cielo. No da sombras nítidas ni puede enfocarse con un instrumento óptico (Solís, 2005).



**Figura 3. Debido a los efectos reflexión, refracción y absorción, no toda la radiación proveniente del Sol llega a la tierra como radiación directa (Solís, 2005).**

Lo que está tibio o caliente -fuegos, cocinas, ollas y comida dentro de una cocina solar- despide olas de calor, o irradia calor a su alrededor; éstas olas de calor se irradian de los objetos calientes a través del aire o el espacio; la mayor parte del calor radiante que se despide de las ollas calientes dentro de una cocina solar se refleja desde el estaño y el cristal de vuelta a las ollas y a la bandeja inferior. Aunque los cuerpos transparentes atrapan la mayoría del calor radiante, un poco escapa directamente a través de ellos; el cristal atrapa el calor radiante mejor que la mayoría de los plásticos (Eiloart, 1996).

## Convección

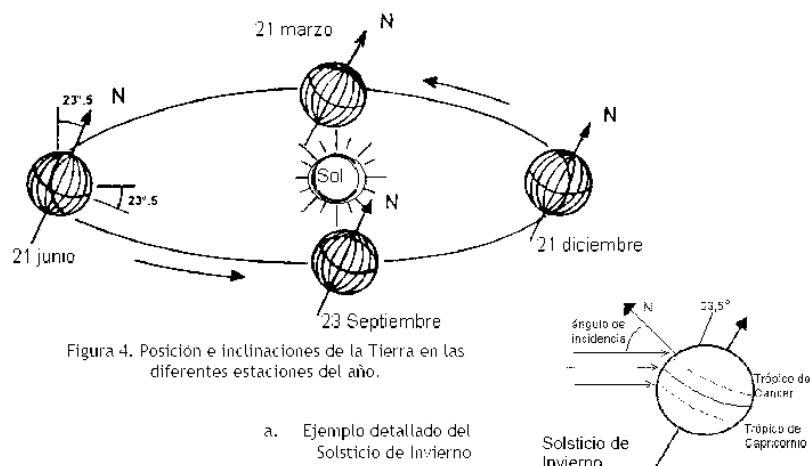
La convección, entendida como el transporte de un fluido por el desplazamiento de sus moléculas debido a diferencias de densidad, puede afectar el rendimiento térmico del dispositivo. Las moléculas del aire entran y salen de la caja a través de las rendijas alrededor de la tapa superior, por un lado de la puerta de la cocina abierta, o a través de imperfecciones en la construcción; el aire frío de fuera de la caja también entra a través de estas aberturas (Eiloart, 1996).

## Almacenamiento De Calor

Cuando la densidad y el peso de los materiales dentro del armazón aislado de la cocina solar aumentan, la capacidad de la caja de mantener el calor se incrementa. El interior de la caja, incluye materiales pesados como: rocas, ladrillos, cazuelas pesadas, agua o comida dura que tarda mucho tiempo en calentarse a causa de esta capacidad de almacenaje del calor adicional. La energía entrante, se almacena como calor en estos materiales pesados, retardando que el aire de la caja se caliente. Estos materiales densos, cargados con calor, irradiarán ese calor dentro de la caja, manteniéndola caliente durante un largo período de tiempo, aunque el día se acabe (Eiloart, 1996).

## DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA RADIACIÓN SOLAR

La Tierra está animada principalmente por dos movimientos: la traslación alrededor del Sol y la rotación alrededor de su eje. La trayectoria que describe la tierra al girar alrededor del Sol no es circular sino elíptica, lo que significa que la distancia Sol-Tierra a lo largo del año no es siempre la misma. El 21 de diciembre la tierra se encuentra más cerca del sol, mientras que en 21 de junio se encuentra en el punto más lejano. Aunque la distancia de la Tierra al Sol influye en la cantidad de radiación solar que incide en la superficie terrestre, la variación se debe principalmente al ángulo de incidencia de los rayos solares en la superficie. El ángulo de incidencia es el que forma la normal (línea perpendicular a la superficie) a la superficie con la dirección de propagación de la radiación Solar (Figura 4) (Solís, 2005).



**Figura 4. Posición e inclinaciones de la Tierra en las diferentes estaciones del año (Solís, 2005).**

Por ejemplo, alrededor del 21 de diciembre se produce el solsticio de invierno, cuando el Sol ilumina más directamente el Hemisferio Sur. Sus rayos caen perpendiculares al Trópico de Capricornio (aproximadamente latitud  $23.5^{\circ}$  Sur), el Polo Sur tiene Sol las 24 horas del día mientras que el Polo Norte está en sombra (Figura 4a). Seis meses más tarde, cerca del 21 de junio se produce el solsticio de verano, que es cuando el Sol ilumina más directamente el Hemisferio Norte. Sus rayos caen ahora perpendiculares al Trópico de Cáncer (aproximadamente latitud  $23.5^{\circ}$  Norte). En el Polo Norte, el Sol está sobre el horizonte las 24 horas del día, y el Polo Sur permanece en sombras.

Hay dos momentos en el año que marcan el cambio entre la iluminación de los polos Norte y Sur. Son aquellos para los cuales los rayos solares inciden de manera perpendicular al Ecuador (latitud 0) iluminando ambos hemisferios por igual. Ocurren aproximadamente el 21 de marzo y el 23 de septiembre, el día dura lo mismo que la noche: 12 horas. El ángulo de inclinación de los rayos solares es importante debido a dos fenómenos: (Solís, 2005).

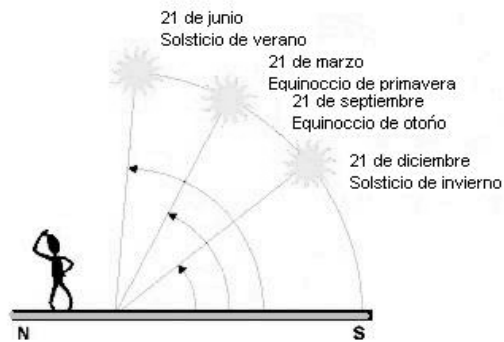
- a. La radiación solar es menos intensa cuando el ángulo de incidencia es mayor. Al medio día, cuando los rayos solares caen perpendicularmente a la superficie terrestre (ángulo de incidencia nulo), son más intensos que al atardecer o al amanecer (ángulo de incidencia máximo) (Solís, 2005).



- b. La cantidad de atmósfera que atraviesa varía con el ángulo de incidencia. Cuando los rayos solares vienen del horizonte tienen que atravesar más masa atmosférica para llegar a la superficie (Solís, 2005).

### Trayectorias Aparentes Del Sol

Entender cómo varía la radiación solar durante el día y a lo largo de todo el año es básico para su aprovechamiento. Si la explicación sobre las estaciones del año e inclinación del eje terrestre no es del todo clara, existe otra manera de comprenderlo: El punto de referencia pasa de estar en el Sol a un observador en la superficie terrestre. El Sol cada día saldrá por el Este y se ocultará en el Oeste, pero su altura varía dependiendo el día del año; más alto en los meses de verano y bajo en invierno. Las líneas que describe el Sol en la bóveda celeste durante un año son conocidas como trayectorias aparentes (figura 5).



**Figura 5. Trayectorias aparentes (Solís 2005).**

En verano la trayectoria del Sol es más alta sobre el horizonte y el día es más largo que en invierno. En invierno la trayectoria es más baja, el día más corto y, aunque la tierra se encuentra más cercana al Sol, la cantidad de masa atmosférica que atraviesan los rayos solares es mayor que en verano por lo que la intensidad de la radiación es menor (Solís, 2005).

## ELEMENTOS COMUNES CONSTITUTIVOS DE LAS COCINAS SOLARES

Los principios de la óptica geométrica y la física térmica envueltos en el desarrollo de las cocinas solares, son los relacionados con la reflexión y transmisión de la luz (radiación de onda corta), la absorción de la radiación, la transformación de ésta en energía térmica (radiación de onda larga) y la limitación de la transferencia hacia el medio circundante de la misma. El manejo físico y operativo de estos factores conlleva a que todos los sistemas de cocción solar tengan elementos comunes (Macia, 2005).

### Materiales para la Estructura

Se necesitan materiales estructurales para que la caja tenga y conserve una configuración y una forma específica, y para que sea duradera por mucho tiempo. Los materiales estructurales incluyen cartón, madera, madera contrachapada, mampostería, bambú, metal, cemento, ladrillos, piedras, cristal, fibra de vidrio, cañas tejidas, plástico, arcilla, tierra pisada, metales, corteza de árbol, telas aglomeradas con goma de pegar u otros materiales. Muchos materiales que se comportan bien estructuralmente son demasiado densos para ser buenos aislantes. Para proporcionar las dos cosas, tanto cualidades de estabilidad estructural, como de buen aislante, es necesario normalmente

utilizar materiales distintos para la estructura y para el aislamiento (Eiloart, 1996; ITC, 2007).

## Reflectores

Los reflectores se emplean como elementos de captación, transmisión y direccionamiento de la energía solar. La principal propiedad que deben tener, es que puedan manejar la radiación con la mayor eficiencia posible, es decir, reduciendo las pérdidas ópticas (propias de la geometría del sistema) y las pérdidas térmicas (propias del material con el que están hechos) (Macia, 2005; ITC, 2007). Cuando la radiación llega a la superficie de un material ideal reflexivo, es rechazada y emitida de regreso. El ángulo con que incide con respecto a la normal es el mismo con el que es reflejado. Cuando la superficie donde se refleja la luz es muy lisa, los rayos reflejados apenas sufrirán cambios y todos se reflejarán con el mismo ángulo; lo que sucede en un buen espejo. Mientras más rugosa es la superficie los rayos que inciden, encuentran diferentes ángulos (a escala microscópica), por lo que el ángulo de reflexión será muy variado y la radiación saldrá en todas direcciones. En consecuencia, si el interés es reflejar la luz solar en una dirección concreta, se debe considerar la calidad de la superficie y no sólo las propiedades reflexivas del material (Solís, 2005).

## Absorbedor

Con el absorbedor o receptor, se logra un mayor control sobre el flujo de radiación que ingresa al sistema, ya que con él se pueden dar tasas de calentamiento más rápidas (mayor velocidad transformando la energía solar en energía térmica y alcanzando la temperatura de equilibrio), permitiendo luego transferir esta energía por conducción, al recipiente de cocción. El uso del absorbedor como entidad específica no siempre es necesario, en algunos diseños, el recipiente hace las veces de receptor con la ventaja de suprimir las pérdidas debidas a la transferencia por conducción, pero con la desventaja de requerir configuraciones geométricas que requieren reubicaciones mucho más frecuentes para una operación adecuada, además de que es propio de estas configuraciones tener valores de concentración más altos lo cual se traduce en temperaturas de operación más elevadas, lo que podría no ser del todo deseable (Macia, 2005).

## Cubierta

Este componente puede tener diferentes formas dependiendo de dónde y cómo vaya ubicado. En una cocina tipo caja, es la puerta de entrada para la radiación solar y define un encerramiento. En una cocina de concentración,

igualmente puede definir un encerramiento o estar solamente alrededor del recipiente de cocción. Su propiedad más importante es que debe ser transparente a la radiación solar y opaca a la radiación térmica para atrapar el calor y producir el efecto invernadero reduciendo de esta forma las pérdidas térmicas y aumentando la potencia del sistema (Macia, 2005; ITC, 2007). Los materiales vidriados más comunes son el cristal y el plástico resistente a altas temperaturas, como las bolsas para asar que se usan en las cocinas. Se puede utilizar doble vidrio, bien de cristal o de plástico para influir tanto en la ganancia como en la pérdida de calor (Eiloart, 1996).

### Aislamiento

Como su nombre lo indica, su objetivo es impedir o disminuir el flujo de energía térmica del sistema hacia el medio circundante (Macia, 2005). El efecto invernadero obtiene su nombre de las estructuras de vidrio que se utilizan en la agricultura para “atrapar” la energía solar. El vidrio, al igual que algunos otros materiales, es transparente a las ondas de luz visible y opaco a rayos ultravioleta e infrarrojos. Las ondas cortas de la luz solar atraviesan el vidrio y se absorben en las plantas y el suelo. A su vez, las plantas y suelo emiten ondas largas infrarrojas que no pueden atravesar el vidrio. Ésta energía queda “atrapada” en el invernadero y eleva la temperatura del ambiente (Solís, 2005). A fin de que la caja alcance en su interior temperaturas lo suficientemente altas

para cocinar, los muros y la parte inferior de la caja deben tener un buen valor de aislamiento. Se incluyen entre los buenos materiales aislantes: hojas de aluminio (reflector brillante), plumas, lana de roca, celulosa, cascarillas de arroz, lana, paja y periódicos arrugados. Al construir una cocina solar es importante que los materiales aislantes rodeen el interior de la cavidad donde se cocina de la caja solar por todos los lados excepto por el lado acristalado normalmente el superior. Los materiales aislantes deben ser instalados para permitir la mínima conducción de calor desde los materiales estructurales del interior de la caja hacia los materiales estructurales del exterior de la caja. Cuanta menos pérdida de calor haya en la parte inferior de la caja, más altas serán las temperaturas de cocción (Eiloart, 1996; ITC, 2007).

### Resistencia la humedad

La mayoría de la comida que se cuece en una cocina solar contiene humedad. Cuando el agua o los alimentos se calientan en la cocina solar, se crea una presión de vapor, conduciendo la humedad desde el interior al exterior de la caja. Ésta humedad puede escapar directamente a través de los huecos y las grietas de la caja o introducirse en las paredes y la parte inferior de la caja si no hay una barrera de humedad. Si la caja se diseña con cierres herméticos y barreras de humedad, el vapor de agua puede ser retenido dentro de la cámara

de la cocina. En el diseño de la mayoría de las cocinas solares, es importante que la mayoría de la parte interior de la cocina tenga una buena barrera de vapor. Esta barrera impedirá desperfectos por agua en los materiales de la cocina, tanto aislantes como estructurales, a causa de la lenta migración del vapor de agua a los muros y a la parte inferior de la cocina (Eiloart, 1996).



## TIPOS DE COCINA SOLAR

Existen fundamentalmente dos principios básicos que caracterizan los métodos de cocción solar: la acumulación y la concentración (Pahissa, 2006; Ouannene *et al.*, 2009).

### Cocina Solar De Acumulación

La cocina solar de caja o el horno solar, consiste en gran parte, de algún tipo de recinto para captar calor (Shaw, 2002). La acumulación de la energía solar se consigue utilizando materiales absorbentes, materiales de colores negros mate, y que además sean buenos transmisores del calor. Si colocamos un fondo metálico negro en el interior del horno y el recipiente de cocción también negro y metálico, la radiación solar será absorbida por estos e irradiada de nuevo pero con longitudes de onda mayor (lo que equivale a menos energía) que no logra atravesar de nuevo el cristal. Así, la energía convertida en energía térmica, provocará un aumento de temperatura en el interior de la caja (Solís, 2005).

Muy a menudo, toma la forma de una caja hecha de material aislante con una cara de la caja provista de un medio transparente, como el vidrio o plástico. Esto permite que la caja aproveche el efecto invernadero y la radiación solar

incidente, cocinando el alimento dentro de la caja. La capacidad de una cocina solar para recoger la luz solar está directamente relacionada con el área proyectada del colector perpendicular a la radiación incidente. Por ejemplo, una caja amplia con una tapa de vidrio funciona como una cocina solar, pero las pérdidas debidas a la pérdida de calor en la superficie más grande, al menos en parte, compensan la ganancia adicional que se tiene a través una superficie de colector más grande. En su lugar, lo que se suele hacer es crear una caja aislada con una superficie acristalada cubierta y reflectores para aumentar la superficie del colector aparente. Estos reflectores se puede hacer de una variedad de materiales y su objetivo principal es reflejar la luz del sol a través del vidrio y en el espacio de cocina interior de la caja (Shaw, 2002). Son muy populares y pueden construirse con materiales muy baratos. Su temperatura típica de operación se encuentra entre los 80 y los 120 °C (Macia, 2005).

Aunque los diseños de hornos solares son muy variados en cuanto a forma, tamaño y materiales, hay algunas propiedades generales:

- 1) Por regla general, podemos calcular que en una cocina solar de caja, en un día de sol, la cocción tardará el doble que en un horno convencional.
- 2) No hay que estar pendiente de la cocción ya que la comida no se quemará, se cocerá lentamente y cuando vayamos a buscarla, todavía estará caliente (Ceuta, 2010; Solís, 2005).

- 3) Pierden parte del calor almacenado cada vez que se abre. Es mejor cocinar en ellos alimentos que no requieran mezclarse o añadir ingredientes en diferentes tiempos. Lo óptimo es introducir el recipiente con todos los ingredientes desde el principio. Esto, más que una restricción, es una ventaja porque una vez adquirida experiencia se puede cocinar prácticamente sin la intervención del usuario durante la cocción.
- 4) Debido a las temperaturas que se logran, puede ser utilizado sólo como una caja aislante que permite mantener los alimentos calientes hasta la hora de ingerirlos.
- 5) Si el alimento es líquido o contiene mucha agua, debe introducirse en recipientes con tapadera, que eviten que el vapor salga y condense en la superficie acristalada del horno. El vapor condensado actuará como una barrera para la radiación que quedará reducida en su entrada (lo que se hace en estos casos es abrir el horno y limpiar rápidamente con un paño seco la humedad).
- 6) Este tipo de cocina utiliza los dos tipos de radiación: directa y difusa, aunque las mayores temperaturas se alcanzan en días despejados (mayor radiación directa). Debido al efecto invernadero generado en su interior tienen alta inercia térmica y las temperaturas no descienden drásticamente cuando una nube bloquea momentáneamente la radiación incidente sobre la caja (Solís, 2005).

## Cocina Solar De Concentración

La concentración, consiste en redirigir los rayos solares a un área menor que la de recepción, esto se logra mediante materiales reflexivos como podría ser algún espejo, lámina de aluminio o plástico metalizado. El flujo de energía por unidad de área aumenta según la calidad del material reflexivo y área de captación. Si se convierte esta radiación en energía térmica utilizando materiales oscuros podremos lograr las temperaturas suficientes para cocinar los alimentos. La reflexión y concentración de los rayos solares se logra utilizando, principalmente, tres tipos de geometría en los reflectores: parábolas, conos y reflectores planos (Solís, 2005). El recipiente que contiene los alimentos se ubica en la zona focal (Lema *et al.*, 2006). Su temperatura de operación se alcanza rápidamente y su magnitud depende en gran medida de la calidad de las superficies reflectoras, estas temperaturas se hallan entre los 70 y 220 °C (Macia, 2005). La cocina de concentración es, realmente, la única clase de cocina solar que es adecuada para freír puesto que la temperatura en el foco es equivalente a la de las estufas convencionales de electricidad, gas o leña. Condiciones de nubosidad y viento se combinan para hacer muy difícil el manejo de la cocina de concentración. En estudios de campo, la cocina de concentración generalmente no es elegida, debido a su necesidad de seguir de cerca el sol, su costo relativamente alto, y las cuestiones de seguridad como que la luz solar concentrada puede causar quemaduras o lesiones oculares (Shaw, 2002).

## Cocina Solar Indirecta

No sólo es posible cocinar colocando las cocinas bajo la radiación directa del Sol. Existen otros métodos. Las cocinas indirectas son dispositivos que permiten aprovechar la energía solar para la cocción utilizando algún fluido para acumular temporalmente la energía, y llevarla hasta los recipientes de cocción. (Solís, 2005; Lema *et al.*, 2006) El fluido (generalmente aceites, debido a su alta capacidad calorífica, que permite alcanzar temperaturas mayores que el agua, y su inercia térmica que entregará el calor más lentamente que el agua) se calienta mediante colectores solares, que son colectores similares a los que se utilizan para calentar agua sanitaria. Después, utilizando algún sistema de bombeo, se transporta hasta los recipientes de cocción, en donde ése hará el intercambio de calor para realizar la cocción de los alimentos. Lo más común es utilizar serpentines que rodean las paredes y el fondo del recipiente. La distancia de transporte del fluido no debe ser muy larga ya que las pérdidas térmicas aumentarán. Habitualmente lo que se hace es colocar los colectores en la azotea o en un lado del edificio en donde se cocinará. Este tipo de cocinas solares suelen ser instalaciones más elaboradas que los pequeños hornos y cocinas de uso familiar y en éstos se requiere un diseño más preciso en donde se calculen los flujos y transferencia de calor necesarios para la capacidad de cocción requerida. Es por ello que estos proyectos comúnmente se realizan en grandes comedores, como hospitales, escuelas o comunidades con comedor común donde el número de comensales no es muy variable. La

gran ventaja de éste tipo de cocinas es que su manipulación se hace desde dentro de la vivienda o edificio. Y al disponer un sistema de acumulación (tanque de almacenamiento aislado térmicamente) puede funcionar aún durante la noche o en un día lluvioso o nublado (Solís, 2005).

## VENTAJAS DE LA COCINA SOLAR

El uso de la cocina solar tipo caja también trae beneficios para la salud y puede resolver el problema de suministro de agua con calidad sanitaria a un costo prácticamente cero (García, 2002).

Calentar el agua a la temperatura de pasteurización de unos 60 ° C destruye organismos patógenos. Esta temperatura se consigue fácilmente con las cocinas solares (TFL, 1998). La pasteurización puede ayudar a reducir el cólera y otras enfermedades transmitidas por el agua, que matan 50,000 personas todos los días. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que el 80 por ciento de todas las enfermedades se propagan a través del agua contaminada (SCI, 2004).

Las infecciones respiratorias agudas (IRA) son la causa de la muerte de millones de niños en el mundo cada año. La gran mayoría de este número de víctimas se origina en los países en desarrollo como resultado del aire interior contaminado por los hornos y chimeneas en las casas sin chimeneas o ventilación. Este problema podría reducirse considerablemente mediante el uso de hornos solares de caja, que son, por supuesto, totalmente sin humo (TFL, 1998).

La cocina solar también conserva muchos micronutrientes mejor que las cocinas tradicionales y es más segura que el fuego abierto, porque no hay llamas. Miles de niños pequeños son mutilados cada año por caer en el fuego de la cocina (Curtis, 2006; TFL, 1998).

En los países en desarrollo, muchas personas, en su mayoría mujeres, y muy a menudo los niños, tienen que pasar varias horas al día recogiendo leña. Este trabajo es muy pesado y provoca muchas lesiones. Además, las mujeres corren un alto riesgo de violación y asesinato cuando salen de sus aldeas a ir a buscar leña. Y, a causa de la degradación ambiental causada por esta práctica, tienen que ir siempre más lejos para encontrarla (Curtis, 2006). La cocina solar puede reducir este tiempo. Las mujeres pueden utilizar el tiempo ganado para el estudio, el cultivo de hortalizas, el cuidado de niños o actividades comunitarias. También se ahorra dinero para otras necesidades básicas (TFL, 1998).

El glaucoma es el nombre de un grupo de enfermedades oculares, que dañan el nervio óptico al punto del desprendimiento, y se cree que la gente está mucho más en riesgo cuando se expone al humo tóxico (Curtis, 2006). El sol es gratis, la cocina solar ahorra combustible precioso para las noches, días nublados y clima frío. Permite cocinar los alimentos sin vigilancia mientras se hacen otras cosas. Las ollas son fáciles de limpiar. La comida no se pega en el interior y no hay hollín en el exterior. Una cocina solar es fácil de hacer de una variedad de materiales. Son seguras, saludables y convenientes. La mayoría alcanzan temperaturas entre los 82-121 °C, ideal para conservar los nutrientes, humedad y sabor a los alimentos. Se puede hornear, hervir y freír ligeramente los alimentos en su propio jugo. La carne se cuece muy tierna. La pasteurización de agua con energía solar es una habilidad que todos deben conocer en caso de emergencia. Una cocina plegable como CookKit facilita el almacenamiento o transporte para las comidas fuera de casa. La tecnología



simple se adapta fácilmente a una amplia variedad de materiales de construcción, cocina costumbres y climas (SCI, 2004).

Las cocinas solares, son dispositivos que salvan vidas en las regiones soleadas y con escasez de combustible. Ayudan a dos de los problemas acuciantes del mundo; la creciente escasez de combustibles para cocinar y el flagelo de las enfermedades transmitidas por el agua (SCI, 2004; Fonseca, 2003). Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), alrededor de un tercio de la población sufre escasez de leña. Algunas familias urbanas gastan un 30-50 por ciento de sus ingresos en combustible para cocinar o cambiar los alimentos por combustible para cocinar el resto. Las familias disminuyen los alimentos nutritivos que requieren de una cocción prolongada de su dieta, lo que contribuye a la desnutrición (SCI, 2004). Por sus excelencias en el mantenimiento de los valores nutricionales de los alimentos, se mejoran los niveles vitamínicos de las poblaciones que usan cocinas solares (García, 2002). Muchos gobiernos importan y subsidian los combustibles fósiles. Con familias que cocinan con el sol a menudo se reducen las necesidades de leña a la mitad (SCI, 2004; Lema *et al.*, 2006).

En las zonas deforestadas, los esfuerzos para proteger los escasos arboles fallan cuando las personas no tienen alternativas para la cocción de la madera como combustible. Cada cocina solar, en climas áridos, soleados puede ahorrar una tonelada de madera por año (SCI, 2004).

El uso de una cocina solar eficiente, combinada con una cesta aislante de retención de calor para evitar al máximo el uso de combustibles de leña, permite una reducción de emisiones de 3.5 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales por

familia. Si su esperanza de vida es de 15 años resulta evidente que tanto la cocción solar como otras tecnologías de procesamiento de alimentos permitirían reducir la factura energética y sanitaria que los combustibles fósiles se cobran en todo el mundo, pero especialmente en las áreas rurales más empobrecidas (Pahissa, 2006). La combustión directa de la leña en condiciones no controladas genera además de CO<sub>2</sub>, una gran cantidad de partículas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, óxido nitroso, óxido de azufre (principalmente en el carbón) y monóxido de carbono (CO), todos con efectos adversos a la salud (Cuevas et al., 2008). Al presentar un modo no contaminante de obtener energía se mejoran las condiciones sanitarias. Véase, por ejemplo, la ausencia de afecciones respiratorias por la presencia de humos o los peligros de quemaduras, a los que son estadísticamente muy vulnerables los niños (SCI, 2004).

## DESVENTAJAS DE LA COCINA SOLAR

No funciona sin brillo solar. Se requiere para días sin sol, o por la noche, una cocina tradicional. Hay que acostumbrarse a cocinar en el patio en vez de la casa (CFC, 2003). Son muy frágiles para el viento. En ocasiones, es necesario cocinar bajo los rayos del sol lo cual es inhumano (Urbano *et al.*, 2010). Hay que moverla cada cierto tiempo puesto que es necesario mantenerla enfocada hacia el Sol. Toma tiempo acostumbrarse a su uso, lo que podría derivarse en una inadecuada cocción de los alimentos (Almada, 2005; Urbano *et al.*, 2010; Macia, 2005).

## SEGURIDAD ALIMENTARIA EN LA COCCION

La salubridad de los alimentos cocidos por medio de cualquier método, sean éstos al vapor, húmedos o en seco, requiere que se cumpla con condiciones específicas y estrictas, independientemente de si el proceso se lleva a cabo en estufas eléctricas, a gas, de leña, hornos microondas u hornos solares (Macia, 2005).

Tipo de alimento	Temperatura mínima interna recomendada	Tiempo mínimo
Aves de corral sin despresar. Muslos y alas.	83°C	15 s
Aves de corral. Pechugas solamente. Carnes de res y cerdo bien hechas	77°C	15 s
Rellenos y recalentamiento de comidas sobrantes	73,5°C	15 s
Carnes de res y de cerdo termino medio. Embutidos. Huevos.	72°C	15 s
Carnes de res termino bajo. Carnes de cordero. Pescado	63°C	3 m
	ZONA PELIGROSA (10°C – 52°C) CRECIMIENTO DE BACTERIAS	tiempo máximo de permanencia 2 horas

**Tabla 1. Temperaturas mínimas internas recomendadas para algunos alimentos y tiempo mínimo requerido para la eliminación de patógenos (Macia, 2005).**

Todos los alimentos crudos de origen animal como huevos, pescado, carnes de ganado vacuno, porcino y de aves de corral y cualquier combinación de éstos deben ser suficientemente cocidos hasta que los microorganismos

potencialmente dañinos sean destruidos. La temperatura interna mínima a la cual los patógenos son eliminados depende del tipo de alimento que está siendo preparado (Ver tabla 1). Es importante cocer los alimentos en los valores prescritos para asegurar que sean aptos para el consumo humano o procurar que no permanezcan por más de dos horas en la zona de peligro si se encuentran en ella. En lo referente a la operación de las cocinas solares, es importante destacar que es igualmente peligrosa la cocción parcial de los alimentos, dado que no se alcancen las temperaturas necesarias, como podría ocurrir en días de baja radiación solar o al final de la tarde. Por lo tanto, los alimentos parcialmente cocidos deben ser enfriados a temperaturas por debajo de los 10° C o deben terminarse de cocer con alguna energía alterna. Si los alimentos han permanecido por más de dos horas en franja de peligro pueden causar intoxicación, así no haya señales visibles que indiquen que el producto no está en buenas condiciones. Recalentar el alimento no corrige el problema ya que el calor no inactiva las toxinas ya liberadas por las bacterias (Macia, 2005).

En casos de platos con carne fresca es importante eroglarlas en aceite, para evitar que la preparación tenga un color desagradable. En caso de platos con granos secos o menestras, es necesario remojarlas en agua por 24 horas antes, es decir, de un día para el otro, esto con la finalidad de que se cocinen bien. En casos de preparaciones “secas”, como el arroz graneado, se debe usar menor cantidad de agua de lo que usaba normalmente. Para cocinar verduras se debe usar poca agua para cocinarlas, esto acelerará la cocción, además que permite mayor conservación de vitaminas (CFC, 2003).

## MANEJO DE LA COCINA SOLAR

Para cocinar al mediodía, en una latitud de 20° N- 20° S, las cocinas sin reflector necesitan reposicionarse un poco para encarar al sol mientras éste se mueve a través del cielo. La caja se pone de cara al sol que está alto en el cielo durante una buena parte del día. Las cajas con reflectores deben ponerse hacia el sol de la mañana o de la tarde para hacer que cocine esos momentos del día. Las cocinas solares que se usan con reflectores en zonas templadas funcionan con temperaturas más altas si la caja se reposiciona para encarar al sol cada una o dos horas (Eiloart, 1996). Si no se tiene prisa y hay mucho sol, puede pre-configurar la cocina de la mañana hasta la posición donde el sol brilla a mediodía. Entonces no necesita más ajustes. De lo contrario, se debe cambiar la posición de la cocina cada 1-2 horas para que siempre este de cara al sol (TFL, 1998).

Se debe colocar la cocina solar al aire libre en un lugar soleado, donde no haya viento. Cuanto más cerca este la cocina de la casa, más fácil será preparar alimentos y mantener en observación la olla. Un fuerte viento puede depositar basura y arena en el vidrio de la cocina, lo que hará más lento el proceso de calentamiento. Además, la temperatura exterior influye en la temperatura dentro de la olla. El clima cálido es siempre mejor que el frío. Cuando se utiliza la cocina solar por primera vez, se debe prestar atención a los tiempos de cocción de las diferentes comidas. Con la práctica se puede aprender a calcular el tiempo necesario para cocinar y la comida será sabrosa

sin supervisión continua. Al levantar la tapa, se debe tener cuidado con el vapor de agua que puede levantarse de la caja (TFL, 1998). Para obtener los mejores resultados, la cocina solar requiere luz solar continua, directa durante todo el período de cocción. Para la mayoría de platos se debe empezar a cocinar antes de las 9:00 o 10:00 de la mañana (SCI, 2004). Lo mejor es utilizar cocinas solares tipo caja cuando el sol está brillando en un cielo sin nubes y cuando la temperatura exterior es superior a 20 °C (70 °F). La cocina debe colocarse mirando directamente hacia el sol, de modo que ninguna sombra interfiera dentro de la caja. De este modo, la cocina tendrá la máxima cantidad de luz del sol, y se cocinará más rápido. El ajuste de la tapa, si cuenta con ella, se realizará para reflejar toda la luz del sol posible dentro de la caja (TFL, 1998).

## EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE UNA COCINA SOLAR

En la actualidad, hay tres normas o estándares de ensayo importantes empleadas para evaluar las cocinas solares en todo el mundo. Estas normas difieren ampliamente en su alcance, la complejidad y resultados finales (Shaw, 2002).

### Norma ASAE S580 de la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos

Este sistema fue desarrollado originalmente por el Dr. Paul Funk como un estándar de pruebas internacional para las cocinas solares. La necesidad de dicha norma fue reconocida y abordada en la Tercera Conferencia Mundial sobre la Cocina Solar, en enero de 1997 (Funk, 2000). El objetivo de esta norma, es el de producir una medida sencilla, pero significativa y objetiva, del desempeño de la cocina, que no fuese tan complicada como para imposibilitar hacer las pruebas en las áreas menos desarrolladas. ASAE S580, supervisa la temperatura media dentro de una olla con agua, mientras que la cocina es operada bajo un conjunto de directrices indicadas en la norma para el proceso de seguimiento, la carga térmica, etc. Las mediciones de temperatura se hacen del agua y el promedio sobre intervalos de 10 minutos. Temperatura ambiente e irradiación normal (flujo de energía solar por área), también son medidos y



registrados, por lo menos tan a menudo como la temperatura de la carga. La figura principal de mérito utilizada por ASAE S580 es la potencia de cocción, P. Mientras ASAE S580 logra su objetivo de proporcionar una prueba sencilla para establecer una cifra comprensible y universal de los méritos, la prueba falta en varias áreas (ASAE, 2003; Shaw, 2002).

#### Bases para la oficina del modelo de prueba estándar de la India

La segunda norma de ensayo considerada se basa en *Thermal Test Procedures for Box-Type Solar Cookers* (procedimientos de ensayo térmico para cocinas solares tipo caja), por Mullick et al (1987). Esta norma, presentada en un marco más técnico que ASAE S580, establece dos figuras de mérito, calculado con el fin de ser lo más independiente de las condiciones ambientales como sea posible (Shaw, 2002).

#### Prueba estándar del Comité Europeo para la Investigación de la Cocina Solar

La norma propuesta por el Comité Europeo para la investigación de la Cocina Solar (ECSCR), explora un alcance más amplio que las dos normas

discutidas previamente. Gran parte de la prueba se dedica a la observación de factores de seguridad, la facilidad de acceso a la olla, se estima la durabilidad y otros valores un tanto subjetivos pero útiles. La norma también incluye un régimen de análisis térmico exhaustivo. El proceso de evaluación es conducido por varias hojas de datos detalladas, que son llenados por el probador. El procedimiento completo de ensayo propuesto por ECSCR es bastante amplio y no es apropiado para ensayos múltiples (Shaw, 2002).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se efectuó en Torreón, Coahuila, durante el mes de noviembre de 2010. Tuvo como objeto construir con materiales de bajo costo cuatro diseños distintos de cocinas solares, para determinar su potencia de cocción. Se pusieron a prueba dos modelos de cocinas de acumulación y dos tipos concentración, seleccionadas por la sencillez de su diseño. El primer modelo, la “*Box cooker – 1*” de *Technology For Life*, construida con cartón, papel aluminio de cocina, pintura color negro mate y cristal de cuatro milímetros de espesor, con una área de reflexión aproximada de 0.53 m<sup>2</sup> (TFL, 1998). En segundo lugar, se construyó el horno solar de pared, “*Wall oven*” de Barbara Kerr en cartón, utilizando papel aluminio de cocina como superficie reflejante, pintura color negro mate y cristal de doble panel de tres mm de espesor, con un área de reflexión aproximada de 0.3 m<sup>2</sup> (Scott, 2004). El tercer modelo, la cocina solar de Roger Bernard, denominada “ROB” (Bernard R., SCI), es decir, cocina solar reflexiva de caja abierta. Se construyó igualmente con cartón, papel aluminio de cocina y pintura color negro mate, este modelo de cocina no requiere del uso de cristal y tiene un área de reflexión aproximada de 0.5 m<sup>2</sup> (SCI). Por último se construyó “*Cookit*” de *Solar Cooker Intenational*, con un de reflexión de 0.5m<sup>2</sup>. Además se siguió el desempeño de un “testigo”, que consistió en una olla de aluminio pintada color negro mate en su exterior con un litro de agua.

El diseño experimental se basó en el estándar ASAE S 580 JAN03 de la Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas (SCI) (ASAE, 2003), en concordancia con los objetivos y recursos del presente trabajo de investigación. Para la toma de temperaturas se utilizaron cinco termómetros digitales marca Farberware®; para determinar el ángulo de insolación se obtuvieron las coordenadas geográficas con un GPS Garmin® 12xl; la temperatura ambiente, la radiación solar y la velocidad del viento se midieron con la estación meteorológica del CENID-RASPA (Longitud 103°27'12.33''W, Latitud 25°35'22.33''N) y el tratamiento estadístico de resultados fue mediante la regresión entre la potencia de cocción y la temperatura interior de acuerdo con la Norma de Evaluación de la ASAE (ASAE, 2003).

## RESULTADOS

Los ensayos se realizaron simultáneamente los días 10,11 y 16 del mes de noviembre del 2010, a una altitud de 1,136 m. El seguimiento se realizó cada 15 minutos en cada uno de los modelos. Se inició la toma de temperaturas a partir de las 11:30 am, en condiciones de poca nubosidad y vientos intermitentes. Debido a que en ninguna de las cocinas solares se alcanzó el punto de ebullición, se finalizaron las pruebas al comenzar el descenso de la temperatura del agua contenida en los recipientes de cada modelo.



Figura 6. Dispositivos de izquierda a derecha: "*Box Cooker-1*", "*Wall Oven*", "*Testigo*", "*ROB*" y "*Cookit*".

Primer día de ensayo. 10 de noviembre de 2010.

El primer día de ensayo, la radiación fue de 765 (W/m<sup>2</sup>) y la temperatura ambiente promedio de 19 °C. El dispositivo "ROB" se posicionó en primer lugar, alcanzando una temperatura de 84.8 °C y una potencia promedio de 50.6 W en 270 minutos. En segundo lugar, "Cookit" con una temperatura máxima de 70.3 °C y una potencia promedio de 40 W en 260 minutos. El dispositivo "Wall Oven" logró los 70.7 °C y una potencia promedio de 28.4 W en 190 minutos. Por su parte, "Box Cooker-1" consiguió un temperatura de 64.3 °C y una potencia de cocción de 30.9 W en 260 minutos. El testigo obtuvo hasta 39.38 °C, calculando su potencia en 4.5 W. Pese a que el dispositivo "Box Cooker-1" consiguió una temperatura menor, su potencia de cocción resultó mayor que la de "Wall Oven" y continuó calentando 70 minutos más.

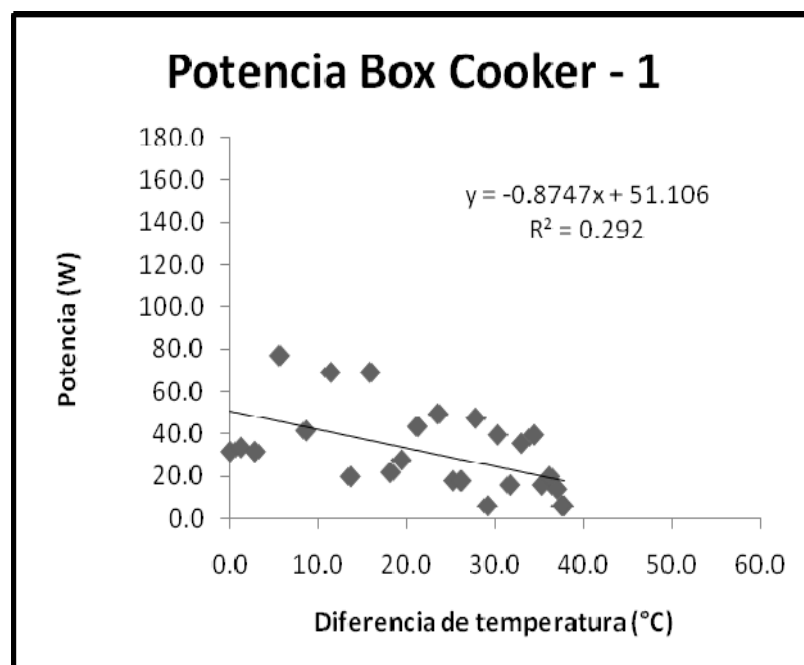
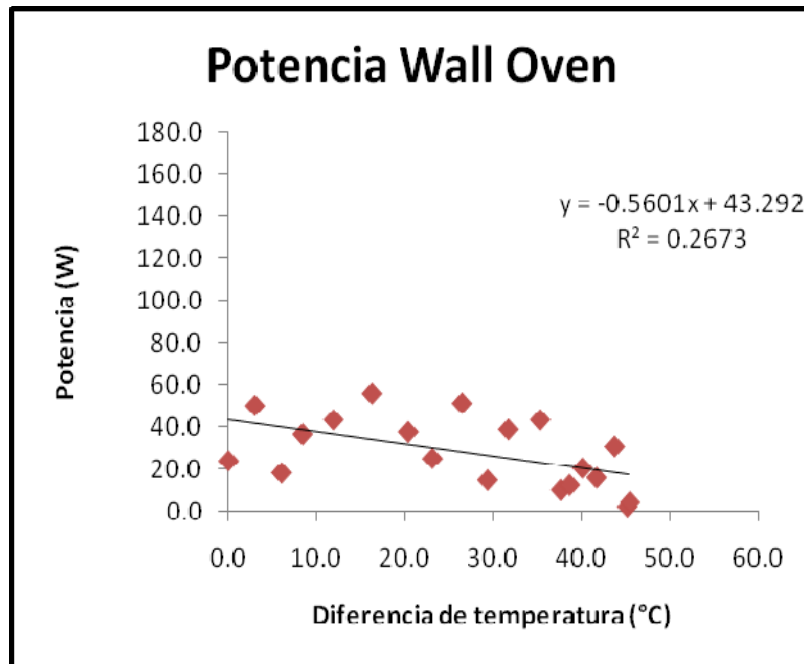
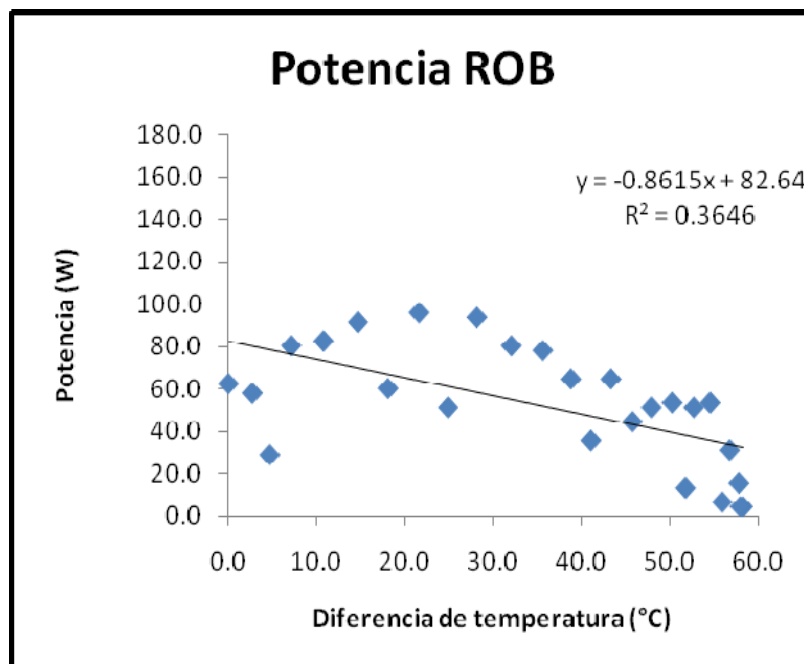


Figura 7. Ensayo de la potencia del dispositivo "Box Cooker - 1". 10/11/10



**Figura 8. Ensayo de la potencia del dispositivo "Wall Oven". 10/11/10**



**Figura 9. Ensayo de la potencia del dispositivo "ROB". 10/11/10**

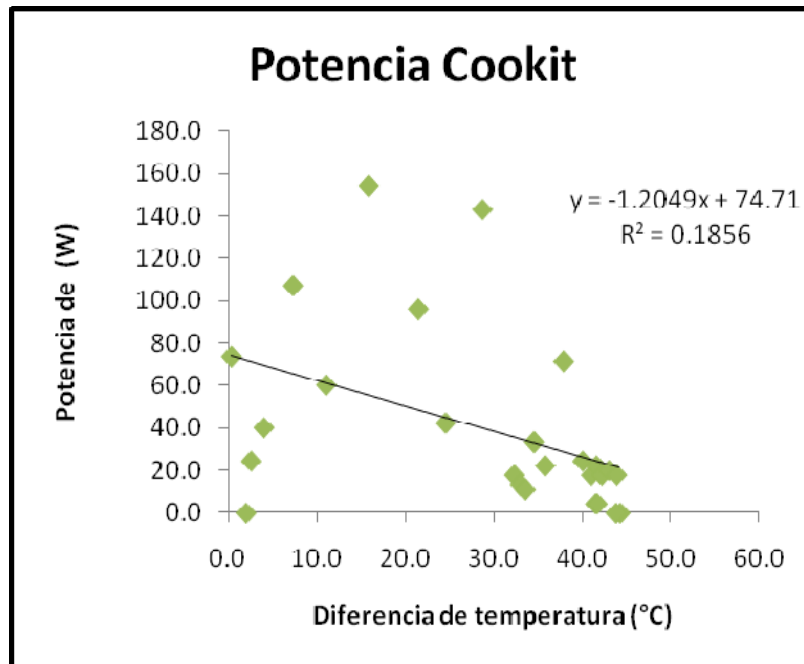


Figura 10. Ensayo de la potencia del dispositivo "Cookit". 10/11/10

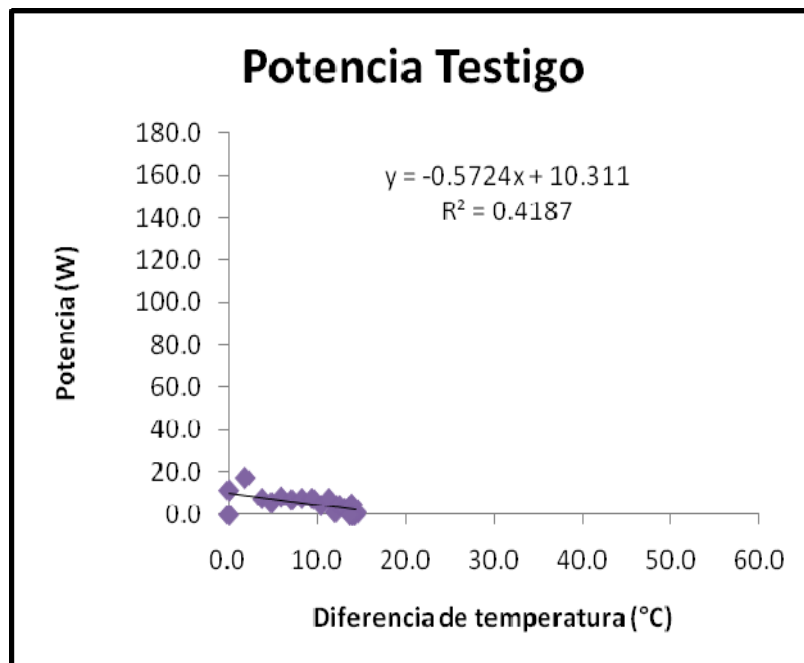


Figura 11. Ensayo de la potencia del dispositivo "Testigo". 10/11/10



Tabla comparativa 10-11-2010				
Nombre de la cocina	T. Max. Alcanzada (°C)	Tiempo en lograr T. Max (min.)	Ps Prom. (W)	r %
<i>Box cooker – 1</i>	64.3	260	30.9	0.17
<i>Wall oven</i>	70.7	190	28.4	0.52
<i>ROB</i>	84.8	270	50.6	0.60
<i>Cookit</i>	70.3	260	40	0.43
<i>Testigo</i>	39.8	230	4.5	0.62

**Tabla 2. Tabla comparativa 10-11-2010**

Segundo día de ensayo. 11 de noviembre 2010

El segundo día de ensayo la radiación fue de 777 (W/m<sup>2</sup>) y la temperatura ambiente promedio de 19.5 °C. El dispositivo “ROB” se posicionó nuevamente en primer lugar, con una temperatura de 82.6 °C y una potencia promedio de 58.4 W en 220 minutos (cuarenta minutos menos que en el primer ensayo). En segundo lugar, “Cookit” con una temperatura máxima de 73.7 °C y una potencia promedio de 43.6 W en 250 minutos. El dispositivo “Box Cooker - 1” se colocó en la tercera posición con 72.5 °C y una potencia promedio de 34.9 W en 270 minutos. “Wall Oven” adquirió una temperatura máxima de 71.5 °C y su potencia de cocción se calculó de 30.3 W en 190 minutos. El testigo obtuvo hasta 40.1°C, con una potencia promedio de 6.6 W.

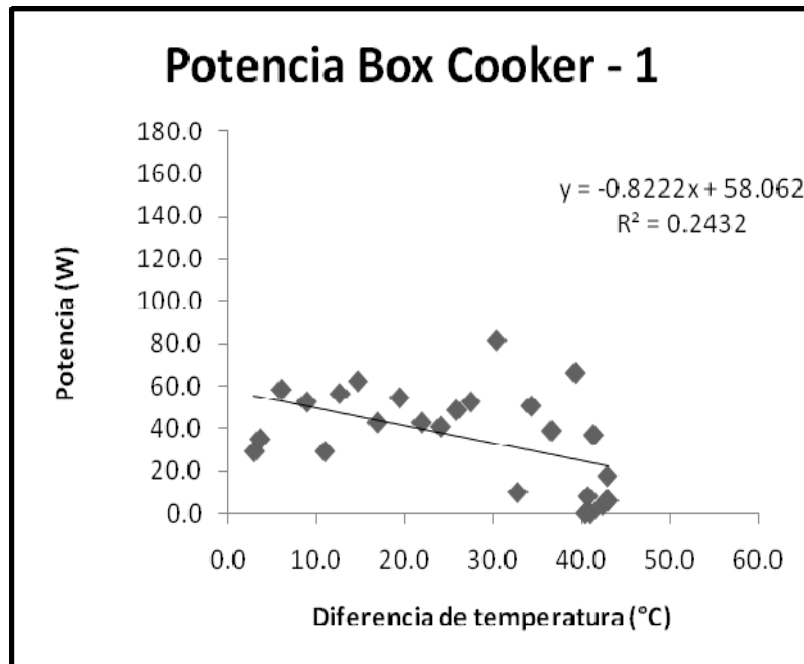


Figura 12. Ensayo de la potencia del dispositivo "Box Cooker - 1". 11/11/10

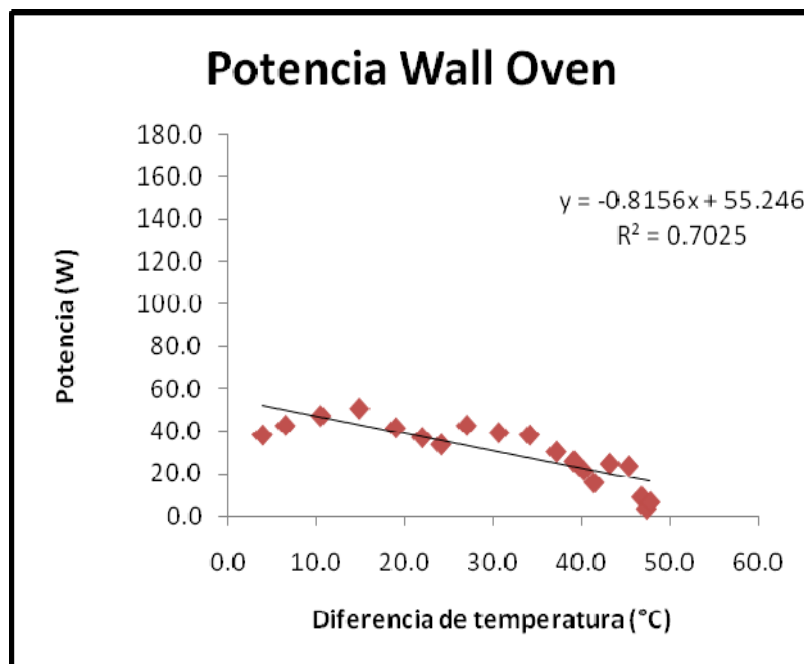
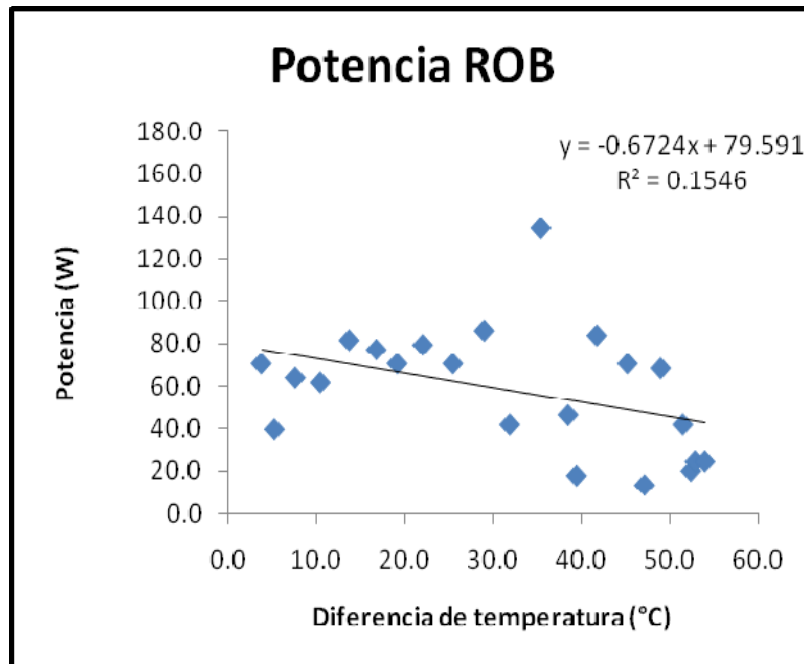
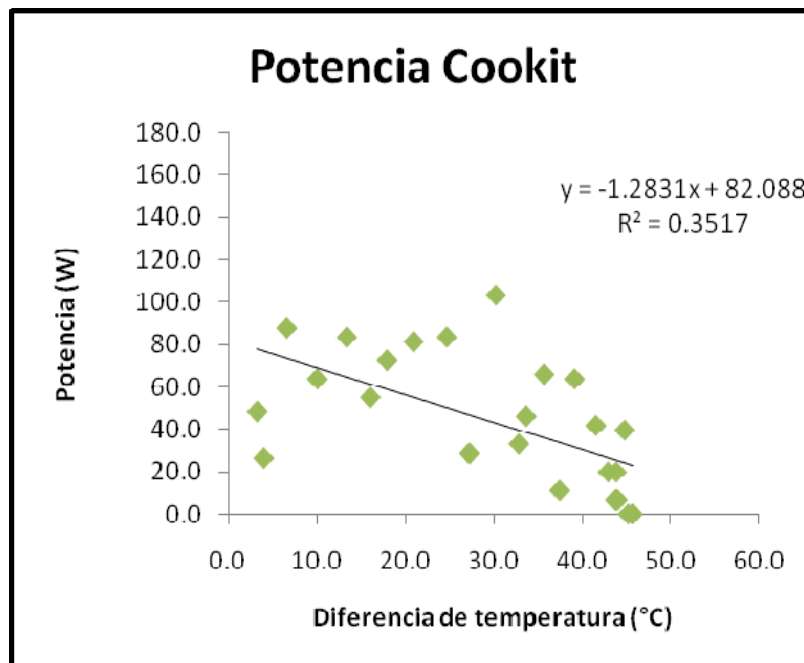


Figura 13. Ensayo de la potencia del dispositivo "Wall Oven". 11/11/10



**Figura 14. Ensayo de la potencia del dispositivo "ROB". 11/11/10**



**Figura 15. Ensayo de la potencia del dispositivo "Cookit". 11/11/10**

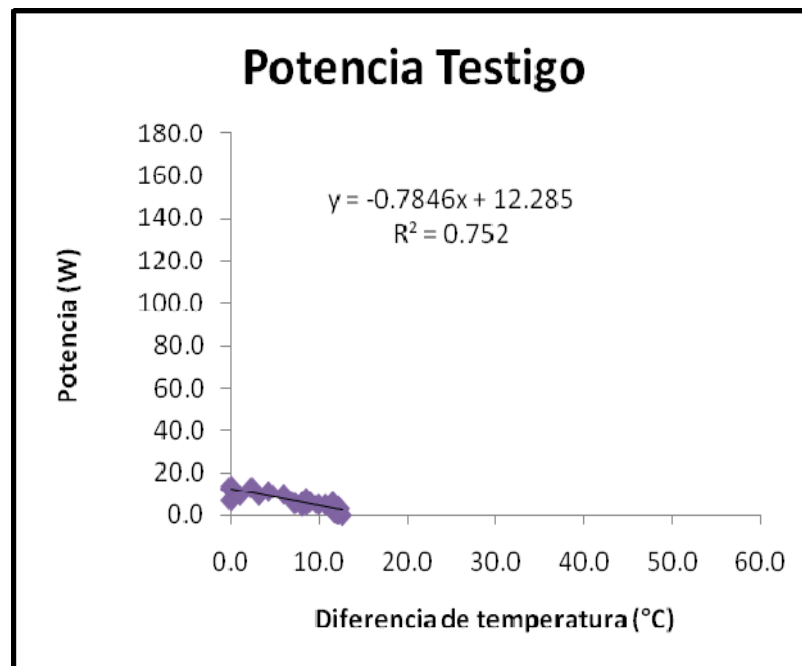


Figura 16. Ensayo de la potencia del dispositivo "Testigo". 11/11/10

Tabla comparativa 11-11-2010

Nombre de la cocina	T. Max. Alcanzada (°C)	Tiempo en lograr T. Max (min.)	Ps Prom. (W)	r %
<i>Box cooker – 1</i>	72.5	270	34.9	0.49
<i>Wall oven</i>	71.5	190	30.3	0.84
<i>ROB</i>	82.6	220	58.4	0.39
<i>Cookit</i>	73.7	250	43.6	0.59
<i>Testigo</i>	40.1	230	6.6	0.80

Tabla 3. Tabla comparativa 11-11-2010

Tercer día de ensayo. 16 de noviembre de 2010

El tercer día de ensayo la radiación fue de 738 (W/m<sup>2</sup>) y la temperatura ambiente promedio de 20 °C. El dispositivo "ROB" se posicionó en primer lugar, por tercera ocasión, con una temperatura de 78.6 °C y una potencia promedio de 48.7 W en 280 minutos. En segundo lugar, y también por tercera ocasión, se encuentra "Cookit" con una temperatura máxima de 74 °C y una potencia promedio de 41.8 W en 280 minutos. El dispositivo "Box Cooker -1" se colocó en la tercera posición con 73.7 °C y una potencia promedio de 39 W en 260 minutos. "Wall Oven" adquirió una temperatura máxima de 70.4 °C y su potencia de cocción se calculó de 22.9 W en 240 minutos. El testigo obtuvo hasta 39.1 °C, con una potencia promedio de 4.9 W.

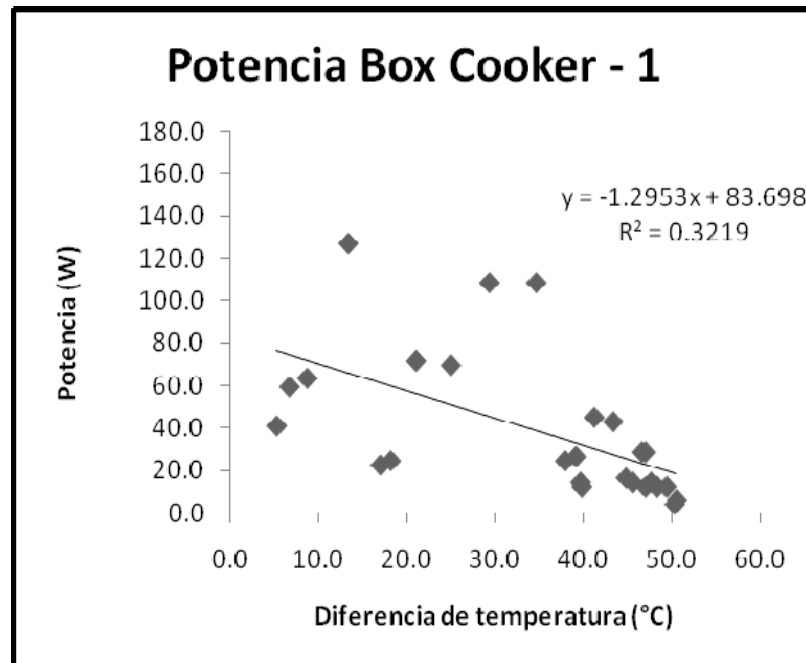
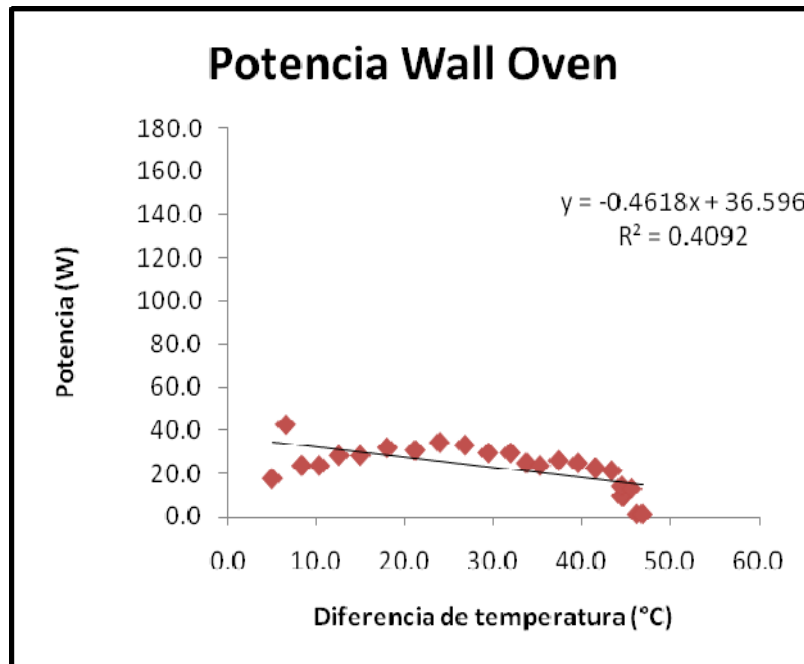
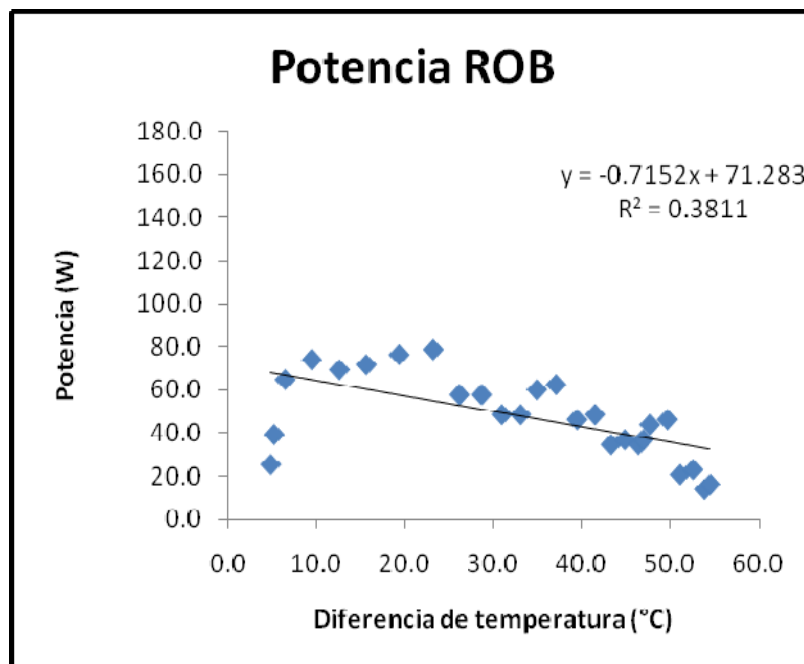


Figura 17. Ensayo de la potencia del dispositivo "Box Cooker - 1". 16/11/10



**Figura 18. Ensayo de la potencia del dispositivo "Wall Oven". 16/11/10**



**Figura 19. Ensayo de la potencia del dispositivo "ROB". 16/11/10**

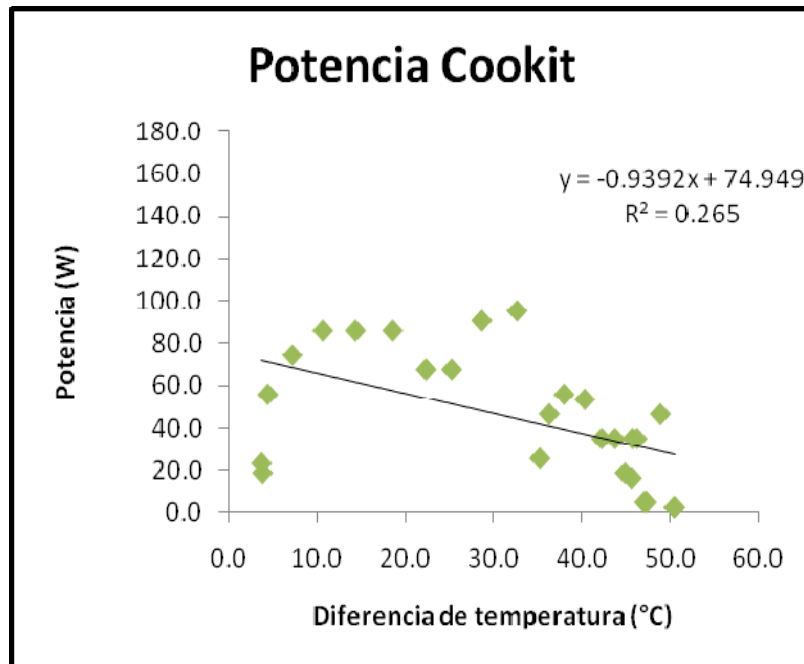


Figura 20. Ensayo de la potencia del dispositivo "Cookit". 16/11/10

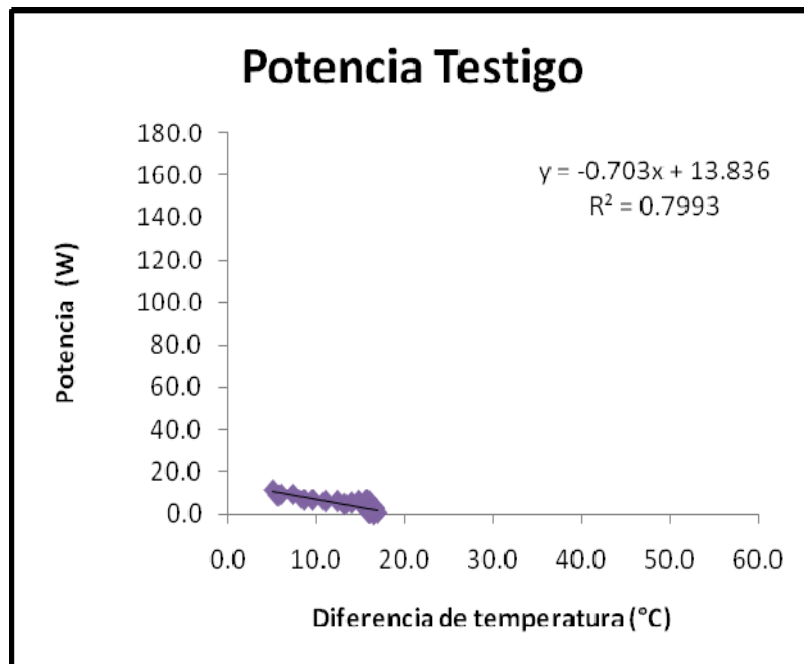


Figura 21. Ensayo de la potencia del dispositivo "Testigo". 16/11/10

Nombre de la cocina	T. Max. Alcanzada (°C)	Tiempo en lograr T. Max (min.)	Ps Prom. (W)	R %
<i>Box cooker – 1</i>	73.7	260	39	0.57
<i>Wall oven</i>	70.4	240	22.9	0.64
<i>ROB</i>	78.3	280	48.7	0.62
<i>Cookit</i>	74	280	41.8	0.51
<i>Testigo</i>	39.1	200	4.9	0.89

**Tabla 4. Tabla comparativa 16-11-2010**

El porcentaje de variación atribuido a la relación encontrada por la regresión fue en todos los dispositivos menor a 0.75, lo cual indica una correlación muy baja entre la potencia y la diferencia de temperatura Agua/Ambiente. Sin embargo se considera una herramienta útil en la comparación y selección de dispositivos. En promedio, el dispositivo “ROB” consiguió la temperatura más elevada y la mayor potencia de cocción.

Nombre de la cocina	T. Max. Alcanzada (°C)	Ps Prom. (W)
<i>Box cooker – 1</i>	70.17	34.93
<i>Wall oven</i>	70.87	27.2
<i>ROB</i>	81.9	52.57
<i>Cookit</i>	72.67	41.8
<i>Testigo</i>	39.67	5.33

**Tabla 5. Comparación de los promedios.**



## DISCUSION

El valor de la potencia de cocción estandarizada es una medida de la eficiencia de la cocina, y como tal es el parámetro que mejor caracteriza su comportamiento, independientemente de las condiciones en las cuales se realiza el ensayo (Fonseca, 2003). Los dispositivos de concentración lograron una potencia de cocción mayor y temperaturas superiores, mientras que las cocinas de acumulación, aunque conservaron por mayor tiempo la temperatura alcanzada, obtienen una menor potencia de cocción (Esteves, 2001). A medida que la temperatura interna de la cocina y del recipiente negro difiere apreciablemente de la de sus alrededores, la pérdida de radiación aumenta con mayor rapidez (Funk, 2000). En todos los casos, la potencia del horno va disminuyendo conforme aumenta la diferencia de temperatura entre el agua y el aire exterior. Esto es lógico, si pensamos que a mayor temperatura, mayores son las pérdidas de energía y consecuentemente menor es la energía útil (utilizada en este caso para calentar el agua dentro de la olla) y menor la potencia (Esteves, 2001).

En el procedimiento de Funk, el principal aporte es el aprovechamiento de la radiación solar para calcular la potencia de cocción en el período de ganancia térmica. Cabe mencionar que en el procedimiento estandarizado, propone que se utilice  $7 \text{ kg/m}^2$ , pero no deja explícita la cantidad de ollas a utilizar. Lo cuál fue un problema debido a la capacidad de la olla y cantidad de ollas que caben en el interior de la cámara de cocción (Frías, 2003). La

velocidad del viento y la temperatura ambiente, se sabe que afectan el desempeño de la cocina solar. De hecho, algunos investigadores prefieren descartar los datos obtenidos, si la velocidad del viento o la temperatura ambiente varían a lo estipulado. Por lo tanto, para asegurar resultados reproducibles, los autores recomiendan que estas pruebas térmicas deben llevarse a cabo en laboratorios con simuladores adecuados (Kundapur, 2009).

Aunque no es el objetivo de la norma de ensayo, se debe mencionar que ASAE S580 no se ocupa de cuestiones que no sean estrictamente el rendimiento térmico de la cocina. La figura de mérito, carece prácticamente de valor para la evaluación de por qué una olla ha logrado un cierto rendimiento, ya que deja fuera cualquier medida directa de las pérdidas de calor. Por lo tanto, cualquier uso de la norma ASAE para analizar el rendimiento de una cocina, en lugar de simplemente comparar su desempeño a otra olla, sería muy difícil. Desde una perspectiva cualitativa, ASAE S580 no se refiere a la facilidad de uso, seguridad o temas financieros asociados con las cocinas de prueba. Una vez más, esto nunca fue implícito como un objetivo de la norma, pero debe tenerse en cuenta, que esta información puede ser igualmente importante para cualquier persona interesada en la evaluación de la cocina solar. No importa qué tan ejemplar sea el rendimiento térmico de una cocina, si es que cuesta miles de dólares y es imposible de operar para una persona promedio (Shaw, 2002).

Los resultados obtenidos de este estudio muestran que diferentes tipos de cocinas solares son superiores a otros. Muchas de las cocinas se podrían utilizar para cocinar los alimentos de los hogares en zonas de media y alta

insolación. Esto, debe ir de la mano con la formación apropiada de los usuarios para la difusión de éxito. Como instrumento de orientación, las cocinas de concentración ofrecen el mejor rendimiento comparativo en las zonas con mayor duración de cielo despejado, mientras que las cocinas de acumulación bajo condiciones de nubosidad moderada y bajo condiciones de mucha nubosidad son las más recomendadas. Cabe señalar aquí que en todo tipo de cocinas se obtiene mejor rendimiento bajo condiciones de cielo despejado (Kimambo, 2007). Tanto en comunidades rurales aisladas como en los barrios marginales, donde el aprovisionamiento de energía se vuelve un problema, la cocción solar con concentradores solares resulta una excelente alternativa (Esteves, 2001). Las experiencias realizadas muestran como la cocina solar puede sustituir parcialmente a las energías convencionales para un mejor aprovechamiento de los recursos naturales (Filippin 2007).

## CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se realizó el presente trabajo y con los resultados obtenidos se puede concluir que:

1. La construcción de los dispositivos fue viable, los materiales empleados fueron muy económicos y de fácil manejo.
2. Los dispositivos que funcionan bajo el principio de concentración, resultaron más eficientes que los de acumulación, tal y como se esperaba.
3. De acuerdo a la potencia de cocción calculada para cada dispositivo, "ROB" fue la cocina más eficiente secundada por "Cookit". "Box Cooker - 1" obtuvo el tercer lugar y por ultimo "Wall Oven" resulto ser la cocina menos eficiente.
4. A pesar de las condiciones climáticas en las que se trabajo, es posible adquirir temperaturas superiores a 63°C necesarias para pasteurización del agua y cocción de algunos alimentos.

## LITERATURA CITADA

- Altshuler, J. 2004. La energía y el hombre. [En línea]  
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia23/HTML/articulo09.htm>.
- Álvarez, J. 2005. Los orígenes de la industria petrolera en México 1900-1925. PEMEX Archivo Histórico de Petróleos Mexicanos. [En línea]  
[http://www.colmex.mx/ceh/petroleo/e107\\_files/Alvarez-Los-origenes.pdf](http://www.colmex.mx/ceh/petroleo/e107_files/Alvarez-Los-origenes.pdf).
- ASAE, 2003, ASAE S580: Testing and Reporting of Solar Cooker Performance. [En línea] [http://solarcooking.org/asae\\_test\\_std.pdf](http://solarcooking.org/asae_test_std.pdf).
- Bernard R. 1994. The Reflective Open Box Solar Cooker. [En línea]  
<http://www.solarcooking.org/plans/newpanel.htm>.
- CCC, 1982. Energía solar y agroenergética. Tomo I, II. P. 7-9, ENERGÍA SOLAR Y AGROENERGÉTICA. Centro de Cultura por Correspondencia CCC, San Sebastián ESPAÑA.
- Ceuta, 2006. La cocina solar. Segundo encuentro nacional de energía solar. Montevideo. [En línea]  
<http://www.tecnologiasapropiadas.com/biblioteca/CeutaEnergiaSolarParte2.pdf>.
- Ceuta, 2010. Un caudal energético. Sistematización del programa 2003 -2010. Montevideo. [En línea] [http://www.ceuta.org.uy/files/Un\\_caudal.pdf](http://www.ceuta.org.uy/files/Un_caudal.pdf).
- CFC, 2003. Cocinar con el sol. Centro de formación campesina Espinar Yauri. Taller inti. [En línea] <http://www.taller-inti.org/download/pdf/1/01.03.12.Folleto%20Cocinar%20con%20el%20sol%2001.pdf>
- Curtis, D. 2006. Solar cooking and health. Solar Household Energy, Inc. [En línea] [www.hedon.info/tiki-download\\_item\\_attachment.php?attId=105](http://www.hedon.info/tiki-download_item_attachment.php?attId=105).
- Eiloart T. y Beaumont G. 1996. *Sunseed* y las cocinas solares. Principios de Diseño de la Cocina Solar. [En línea]

[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random499169cb1acb4/1234266633\\_Dise\\_o\\_cocinas\\_solares\\_GEA.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random499169cb1acb4/1234266633_Dise_o_cocinas_solares_GEA.pdf).

EPSEA, 2007. Cocinando con el sol. [En línea] <http://www.epsea.org/esp/cocina.html>.

Esteves, A. 2001. Ensayo de potencia para medir el comportamiento térmico de hornos solares. Su validez en función de la época del año. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 5 [En línea] <ftp://ftp.cricyt.edu.ar/pub/lahv/asades/2001/ar50-02.pdf>.

Filippin, F. Iriarte, A. Saravia, L. 2007. Estudio de eficiencia y adaptabilidad de cocinas solares de bajo costo en núcleos habitacionales peri – urbanos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 11, 2007. [En línea] <http://www.cricyt.edu.ar/lahv/asades/averma/2007/3-12.pdf>.

Fonseca F., S. Abdala R., J. L. Acosta V., Z. 2003. Evaluación térmica de cuna cocina solar tipo caja. Tecnología química. Vol. XXIII, No. 1, 2003. [En línea] <http://www.uo.edu.cu/ojs/index.php/tq/article/viewFile/2042/1592>

Frías R., R. A. 2003. Metodologías de análisis térmico de cocción solar tipo horno. Universidad de Chile. Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Memoria para obtener el título de Ingeniero Civil Mecánico. Santiago de Chile, p.72 [En línea] <http://cabierta.uchile.cl/revista/23/articulos/pdf/rev4.pdf>.

Funk, P. A. 2000. Evaluating the International Standard Procedure for Testing Solar Cookers and Reporting Performance. [En línea] <http://ddr.nal.usda.gov/bitstream/10113/3326/1/IND43949398.pdf>.

García, J. 2002. La cocina solar. Un sistema de aprovechamiento directo de la energía solar para cocer los alimentos y para otras aplicaciones. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales, Universidad de Barcelona. 2002. Vol. VII, nº 376. [En línea] <http://www.ub.es/geocrit/b3w-376.htm>.

ITC, 2007 Guía didáctica de energía solar. Hornos solares. Instituto tecnológico de canarias S.A. [En línea] <http://www.renovae.org/olimpiadasolar>.

Kerr, B. 1991. The Expanding World of Solar Box Cookers. [En línea] <http://solarcooking.org/kerr.htm>

- Kimambo, C. Z. M. 2007. Development and performance testing of solar cookers. Journal of Energy in Southern Africa Vol. 18 No 3 [En línea] <http://www.erc.uct.ac.za/jesa/volume18/18-3jesa-kimambo.pdf>.
- Kundapur, A. 2009. Proposal for new world standard for testing solar cookers. Journal of Engineering Science and Technology Vol. 4, No. 3 (2009) 272 - 281 [En línea] [http://jestec.taylors.edu.my/Vol%204%20Issue%203%20September%2009/Vol\\_4\\_3\\_272-281\\_Ashok%20Kundapur.pdf](http://jestec.taylors.edu.my/Vol%204%20Issue%203%20September%2009/Vol_4_3_272-281_Ashok%20Kundapur.pdf).
- Lema, A. Pontin, M. Ghirardotto, M. Sanmartino, A. 2006. Estudio de diferentes materiales de cubierta para cocinas solares tipo caja. Avances en energías renovables y medio ambiente. Vol. 10 [En línea] <http://www.cricyt.edu.ar/lahv/asades/averma/2006/trm19.pdf>.
- Macia, G., A. F., Estrada V., D.A, Chejne J., F. Velásquez, H. I. Rengifo, R. 2005. Metodología para el diseño conceptual de cocinas solares. Dyna rev.fac.nac.minas. vol.72, no.146 [En línea] <[http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532005000200006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532005000200006&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0012-7353.
- Ouannene, M. Chaouach, B. Gabsi, S. 2009. Design and realization of a parabolic solar cooker. [En línea] [http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/40/087/40087859.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/40/087/40087859.pdf).
- Pahissa, M. 2006. Avances de la tecnología solar para el procesador de alimentos. Fundación tierra. IDI. [En línea] [http://www.marm.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_AM%5CAM\\_2006\\_52\\_56\\_59.pdf](http://www.marm.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AM%5CAM_2006_52_56_59.pdf)
- Pohekar, S. D. y M. Ramachandran. 2005. Utility assessment of parabolic solar cooker as a domestic cooking device in India. Renewable Energy. Vol. 31. [En línea] [www-ramanathan.ucsd.edu/Project%20Surya/References/pohekar-renewableE31-1827\\_2006.p](http://www-ramanathan.ucsd.edu/Project%20Surya/References/pohekar-renewableE31-1827_2006.p).
- Rincón, E. 1999. Estado del arte de la investigación en energía solar en México. Fundación ICA. [En línea]

[http://www.anes.org/anes/formularios/publicaciones/download.php?id=Edo\\_Arte\\_investigacion\\_Energia\\_Renovable\\_Solar\\_Mexico.pdf&dw=5](http://www.anes.org/anes/formularios/publicaciones/download.php?id=Edo_Arte_investigacion_Energia_Renovable_Solar_Mexico.pdf&dw=5).

Rincón, E. Lentz, A. 2007. Empleo de la energía solar para la cocción de alimentos. Ecosolar. Vol 19. [En línea] <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar19/HTML/articulo04.htm>.

Roca L. y J. Miralles 2002. Cocina solar. Perspectiva ambiental. Vol. 25. [En línea] <http://www.ecoterra.org/data/pa25e.pdf>.

SCI. 2004. Solar cookers. How to make, use and enjoy. Solar cooking international. [En línea] <http://solarcooking.org/plans/plans.pdf>.

Scott J. 2004. El horno de pared de Barabara Kerr. [En línea] <http://www.solarcooking.org/bkerr/doityouself.htm>.

Shaw, S. (2002). Development of a comparative framework for evaluating the performance of solar cooking devices. Thesis submitted at Rensselaer Polytechnic Institute. [En línea] (<http://www.solarcooker.org/Evaluating3Solar3Cookers.doc>).

Shyam S., N. 2007. Usos de Las Ciencias Exactas en Las Aplicaciones de Energía Solar- en particular Cocina/ Horno Solar. [En línea] <http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2007/ShyamNandwani.pdf>.

Solís G., A. P. 2005. Tecnologías para procesar alimentos con energía solar. Tesis para obtener el grado de Máster en Energías Renovables. Universidad de Zaragoza, España, p. 118 [En línea] <http://comunidades.imacmexico.org/c11/IMG/pdf>.

Terrés, H. Ortega, A. Gordon, M. Morales, J. R. Lizardi, A. 2008. Evaluación de reflectores internos en una estufa solar de tipo caja Científica, Vol. 12. Instituto Politécnico Nacional México.

TFL. 1998. Manual for Solar Box Cookers. Technology for Life. [En línea] <http://www.kaapeli.fi/~tep/man/manual.htm>.



Urbano C., J. A. Matsumoto K., Y. A. Asomoza P., R. García G., J. A. Gómez R., O.I. Basilio P., J. M. Tapia D., A. 2010. Estufa rural y urbana de concentración solar; alternativas energéticas distribuidas, limpias y sustentables. CINVESTAV – IPN. ESIME – IPN.

Vázquez E., M. 2010. Historia de la arquitectura solar. Anejo ilustrado una brevísima historia de la arquitectura solar. [En línea] <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>