



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingeniería

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTUFA SOLAR

TESIS RECEPCIONAL
Para obtener el Grado de

Ingeniero en Sistemas de Energía

PRESENTA

ULISES ARROYO JULIO

DIRECTOR DE TESIS

DR. VICENTE FLORES LARA

Chetumal, Quintana Roo, Octubre de 2004

Ø43740



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
División de Ciencias e Ingeniería

Tesis elaborada bajo la supervisión del Comité de Asesoría y aprobada como requisito parcial, para obtener el grado de:

INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA

COMITÉ

Director. Dr. Vicente Flores Lara

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn circle, positioned above a horizontal line.

Asesor: M.C. Jaime D. Cuevas Domínguez

A handwritten signature in black ink, positioned above a horizontal line.

Asesor: M.E.S. Roberto Acosta Olea

A handwritten signature in black ink, positioned above a horizontal line.

Chetumal, Quintana Roo, Octubre de 2004

Dedicatoria

A mis padres: Mauricio y Gelacia, por su constante cariño y confianza hacia mi persona...

A mis hermanos: Uriel, Mauricio e Imelda por su apoyo incondicional...

A mi hijo: Juanito por iluminar mi camino...

A mi esposa Guadalupe... Gracias por tu cariño...

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, quienes me enseñaron a ser una persona de bien e inculcaron grandes valores como la responsabilidad, dejándome actuar siempre en forma autónoma, suponiendo mi buen y criterioso juicio; espero no haberlos defraudado. Un beso a mi bella madre, cuyo consejo y cobijo, en más de una ocasión procuré; y a mi padre, cuya infinita confianza me ha llevado a esforzarme al máximo en todas las empresas que he acometido.

A Guadalupe, pareja, amiga y madre de mi hijo, por todo el amor y apoyo incondicional brindado en estos años; y por la gran cantidad de horas renegadas, que se plasmaron en esta Casa de Estudios. Gracias mi amor por ser como eres, en especial por tu enorme paciencia; por eso y tantas otras cosas, te amo... A Nancy, Janeth y Rosario.

Al Doctor Vicente Flores Lara, quien me brindó su confianza para el desarrollo de la presente Tesis, y cuyos comentarios y críticas me enseñaron más allá de lo meramente académico.

A los miembros integrantes de la Comisión Examinadora M.E.S. Roberto Acosta Olea y al M.C. Jaime Cuevas Domínguez, ambos con comentarios asertivos, que permitieron mejorar sustancialmente este trabajo.

Así también no puedo dejar de agradecer a todos y cada uno de los maestros de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Energía quienes me brindaron los conocimientos necesarios y tuvieron siempre plena disposición para atender mis cuestionamientos.

Agradezco también a mis amigos, grupo interdisciplinario de la Universidad de Quintana Roo, quienes no tan sólo me aconsejaron en aspectos específicos de sus respectivas áreas del conocimiento, sino que también me apoyaron en lo personal. Gracias muchachos por ser como son.

Índice

Resumen	1
Introducción	2
Capítulo 1	
Antecedentes	4
1.1.- Estado del arte	5
1.2.- Justificación	10
1.2.1.- El consumo de leña para cocción de alimentos a nivel nacional	14
1.2.2.- Ventajas que ofrecen las cocinas solares	16
Capítulo 2	
Diseño y construcción	18
2.1.- Ecuaciones que gobiernan en el diseño	19
2.2.- Materiales de construcción	21
2.3.- Calidad de la superficie reflejante	22
2.4.- Descripción y ventajas de la construcción	24
Capítulo 3	
Puesta en operación y pruebas	29
3.1.- Comportamiento de la estufa solar	32
3.2.- Eficiencia de la cocina	34
3.3.- Pruebas	35
3.3.1.- Cocción de alimentos	35
3.3.2.- Análisis de operación	38

Capítulo 4

Análisis económico	39
4.1.- Pronóstico de ventas	39
4.2.- Cálculo del costo de producción	39
4.3.- Gastos generales	44
4.4.- Determinación del estado de resultados	45
4.5.- Valor presente total	46

Capítulo 5

Conclusiones	47
---------------------	-----------

Bibliografía	49
---------------------	-----------

Resumen

El modelo de estufa solar aquí presentado es versátil, dinámico y con muchas ventajas sobre otros modelos de su misma especie, siendo la principal y por la que se eligió este modelo: sus altas temperaturas de ebullición de aceites comestibles, por lo que además de cocer, se pueden freír alimentos. Es de fácil operación para el usuario, fabricado con materiales comerciales y requiere un mínimo mantenimiento.

Basado en la idea de crear un dispositivo que aproveche de manera eficiente la irradiancia solar para su utilización en la cocción de alimentos se construyó ésta estufa solar la cual tiene la capacidad de hasta cuatro litros, ya que incluye una olla especial de presión para un óptimo aprovechamiento de la irradiancia solar, además, de una cacerola en la que se puede cocinar comida hasta para seis personas.

Los resultados obtenidos fueron los que se tenían previstos desde el principio del diseño de este modelo de estufa solar e incluso en algunas situaciones rebasó las expectativas.

Las aplicaciones que se le puedan dar son diversas y muy variadas dependiendo de las necesidades de cada usuario.

Un aspecto a tomar en cuenta desde el punto de vista económico es que mientras más se utilice la cocina su tiempo de amortización será menor.

Diferentes alimentos que varían en el tiempo de cocción por su consistencia se han cocinado con el propósito de evaluar el funcionamiento de la estufa, resultando que para alimentos de origen animal su tiempo de cocción se encuentra entre 25 y 50 minutos, dependiendo de su dureza.

El alcance de este trabajo abarca hasta la operación y evaluación de la estufa desde el punto de vista técnico e ingenieril, no obstante, queda para estudios posteriores la evaluación de la calidad de los alimentos.

Introducción

Entre las razones para cocinar con el Sol se encuentran los motivos ecológicos, económicos y nutritivos. En primer lugar, las cocinas solares ofrecen la posibilidad de utilizar una energía limpia, abundante y que no causa ninguna contaminación. En segundo lugar, es una cocina cuyo uso no tiene ningún costo de explotación y que nos permite ser más independientes con respecto a los proveedores de energía. La cocina solar nos libera de cualquier dependencia que no sea la de la iluminación solar.

Para procesos culinarios como hacer conservas (que requieren mucha energía) es una herramienta ideal. Entre estos procesos energéticamente exigentes destacan, la conservación de alimentos, la esterilización e incluso la desalinización del agua para obtener agua potable en lugares escasos de agua dulce.

Además, los alimentos conservan mejor sus principios nutritivos. También hay potentes razones para fomentar el uso de la cocina solar en los países en desarrollo. Las razones son del ámbito de la salud, el medio ambiente, la economía e incluso la política. Las condiciones privilegiadas de las áreas más pobres del planeta con respecto a la insolación (regiones áridas, tropicales o con escasez de leña y combustibles) hacen que sean lugares idóneos para utilizar la cocina solar.

Con este propósito se diseñó y construyó una cocina solar que cumpliera las necesidades y demandas de los usuarios de la región.

El análisis de diseño, descripción constructiva y de operación, así como los resultados de operación y su análisis económico se tratan en este trabajo, el cual está estructurado de la siguiente manera:

En el primer capítulo se tratará de manera breve los antecedentes históricos de las cocinas solares, la justificación del diseño del prototipo propuesto, el estado del arte, además de datos estadísticos sobre el consumo de leña a nivel nacional para la cocción de alimentos y las ventajas que ofrece el uso de las cocinas solares.

Las ecuaciones que gobiernan el diseño, los materiales de construcción que se utilizaron, la calidad de la superficie reflejante y las ventajas en el diseño de éste prototipo se describen de manera precisa en el segundo capítulo.

Lo referente a los datos técnicos resultado de la caracterización y eficiencia de la cocina solar se describen en el capítulo tres, además de que en este apartado se menciona

también el sencillo proceso de operación para el usuario, los resultados obtenidos en la cocción de diferentes alimentos y al análisis de operación de la estufa.

El análisis económico sobre un proyecto para fabricación de estufas solares se describe brevemente en el capítulo cuatro, aquí se trata el precio de venta de éste artículo para los primeros diez años de operación de una empresa.

En el capítulo cinco está enfocado a las conclusiones que arrojaron los resultados obtenidos sobre el funcionamiento de este modelo.

Capítulo 1

Antecedentes

Un paso importante en la evolución humana fue la socialización del fuego hace aproximadamente unos 300,000 años, elemento que permitió no sólo atemperar el rigor climático sino, sobre todo, tener acceso a los alimentos cocidos que permitieron un consumo más elevado de proteína animal y sustancias nutritivas que contribuyeron al desarrollo de la inteligencia, especialmente, durante las primeras fases de la vida humana. A mediados del siglo XVI se introducen los hornos y las cocinas para mejorar la eficiencia calorífica de la leña [4].

La historia de la utilización de la energía solar se remonta hasta los mismos límites de la prehistoria con la invención de diversos aparatos que utilizaban como fuente de energía al Sol. En lo que respecta a los concentradores solares que fueron utilizados con fines prácticos data de 1707, cuando el famoso naturalista francés George Louis Buffón construyó el primero de los muchos hornos solares franceses. El más grande compuesto de 360 espejos planos montados por separado que enviaban la luz a un pequeño foco común [4].

Los primeros experimentos relacionados con hornos para la preparación de alimentos fueron descritos por Nicholas Saussure (1740-1799). Su horno se componía de bloques de vidrio separados entre sí y situados en la parte superior de una superficie ennegrecida cerrada con una caja aislante .

En el siglo XIX el astrónomo inglés John Herschel construyó un dispositivo simple para su empleo práctico durante su expedición al Cabo de Nueva Esperanza en 1837. Consistía simplemente en una caja negra enterrada en arena para conseguir su aislamiento, dotada de doble tapa de vidrio que permitía entrar el calor del Sol, registró una temperatura de 116 °C. El horno lo utilizó el equipo de Herschel para cocinar carne y verduras [4].

Años más adelante W. Adams, un inglés de servicio en Bombay, India, construyó sistemas de cocción solares y descubrió, que la luz solar dirigida directamente sobre la carne produce un olor y sabor desagradables, muy diferentes al aroma de la carne a la parrilla. En uno de sus inventos utilizó una caja octagonal cónica recubierta por espejos de

vidrio plateado que enfocaba la luz a través de una campana de vidrio cilíndrica sobre el recipiente de los alimentos [3] y [4].

De estos inventos a la fecha las cocinas solares no han tenido un gran desarrollo, dado que las actuales siguen utilizando el mismo principio, sólo varían algunas en el diseño y la forma de concentrar la irradiancia solar. Esto, aunado al desarrollo tecnológico que han tenido las estufas que utilizan combustibles como el gas natural y las parrillas eléctricas.

En algunas ferias de inventos se han presentado algunos modelos en los que se han mejorado los materiales con los que se construyen.

En nuestro país no existen grandes antecedentes sobre este tipo de dispositivos, sólo se han realizado algunos proyectos a nivel de investigación. Sin embargo, en países de África y Asia la cocción de alimentos por medio de la energía solar tiene una gran aplicación y aceptación entre la sociedad de aquellas regiones.

1.1.- Estado del arte

A lo largo de la historia se han desarrollado diversos modelos de estufas solares destacándose dos principalmente: las de concentración y las de acumulación (fig. 1).



Fig. 1. Diferentes diseños de cocinas de concentración (izquierda) y de acumulación con concentradores, derecha.

A continuación se describe el desarrollo de las estufas de concentración que es el tipo de estufa que se ha diseñado en ésta tesis.

Capítulo 1.- Antecedentes

Como su nombre lo indica, la estructura de esta cocina de concentración es una parábola o disco cóncavo que concentra los rayos solares en una zona donde se ubica la olla o el recipiente donde se llevará a cabo la cocción, ya sea dentro o fuera de la parábola. A diferencia del horno solar de caja, la cocina parabólica es casi tan rápida como la cocina convencional. Cuando la parábola se enfoca al Sol alcanza temperaturas de hasta 180 °C sobre el punto focal. Esto quiere decir que se puede hervir hasta 3 litros de agua en 15 minutos [3 y 4].

La cocina solar parabólica más popular es la llamada de foco profundo. Uno de sus principales investigadores y entusiastas promotores es el Dr. Dieter Siefert de Neutting (Alemania) que desde el año 1984 estudia este tipo de cocina. El primer modelo SK1 era una parábola de aluminio remachado de 120 cm de diámetro sobre una estructura pesada para poder orientarla al Sol. La SK9 se probó en 1987 en Togo y la parábola estaba hecha con 24 láminas de aluminio ligadas entre ellas, pero el rendimiento era muy bajo [7].

Después de este ensayo, el Dr. Seifert construyó un espejo parabólico más curvado de 140 cm de diámetro y 28 cm de distancia focal. El posterior descubrimiento de una gran olla de 12 litros esmaltada en negro y el hallazgo de un proveedor de láminas de aluminio delgado, firme y brillante permitió diseñar la primera SK12 en el año 1990, preparada para que fuese de fácil construcción en cualquier lugar del mundo con herramientas manuales.

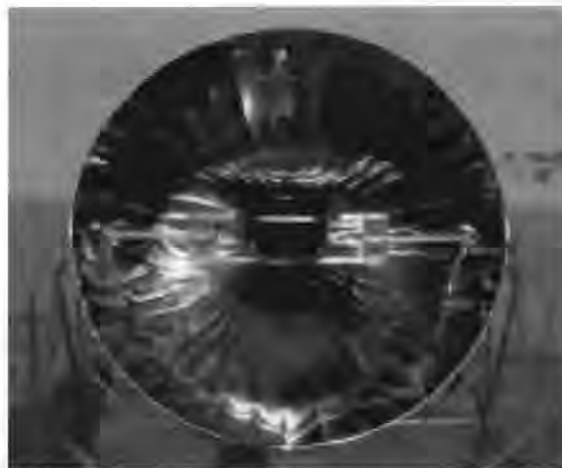


Fig. 2. Fotografía de un modelo de cocina SK14.

La entidad de formación profesional de Altötting EG Solar e.V., pueblo vecino del Dr. Seifert, ese mismo 1990, inició un proyecto de taller de cocinas solares parabólicas. Desde entonces las han extendido por todo el mundo. Actualmente existen más de 15,000. Entre las características destacables de la SK12 cabe citar el hecho de que la parábola sea un poco más vacía de lo que sería habitual, hecho que permite mantener el tiempo de reorientación, a la vez que evita el peligro de incendio en caso de que ésta se volcara e incrementa la seguridad de quien cocina. La cocina SK12 puede permitir cocinar diariamente para unas 10-12 personas y ahorrar anualmente alrededor de 4 toneladas de dióxido de carbono [7].

En el ensayo internacional de referencia de la Comisión Europea para la Investigación Solar (ECSCR) del año 1994 en Almería, la cocina SK12 fue calificada de excelente. Los modelos SK12 y SK14 (fig. 2) han sido los más utilizados. Sin embargo, a partir de la Segunda fase del ensayo de Sudáfrica de 1996 y 1997 Dieter Seifert diseñó la SKM como modificación de la SK12 y 14, la cual incorporaba como principal novedad que se pudiese guardar de noche y que la base sirviese como mesa para comer. Dicho modelo fue el preludio de las modernas y actualmente mejoradas cocinas solares parabólicas KSOL10, KSOL12 y KSOL14 que fabrica la empresa alemana Koch GmbH bajo la dirección del Dr. Seifert. Con las cocinas KSOL se ha llegado a un grado de desarrollo y eficiencia económica y energética que, por un precio de unos 400 euros, se puede adquirir una cocina solar de 140 cm de diámetro y 600 W, ligera (con un peso de tan sólo 18 kg) y persistente [4] y [7].

Hay algunos otros modelos de cocina solar parabólica, pero ninguno tiene un desarrollo tecnológico industrial como las cocinas KSOL.



Fig. 3. Fotografía de la estufa solar de concentración "Papillon".

Un prototipo similar al presentado en este trabajo es la cocina solar "Papillon" (fig. 3) de manufactura africana pero con diferencias notables en el soporte de la superficie reflejante y en la estructura principal de la estufa. Lo que las hace muy parecidos es la forma de su superficie reflectora [6].

La estufa solar que se presenta en este trabajo tiene además otras grandes diferencias respecto al "Papillon", los mecanismos de orientación son muy diferentes, éste incluye una "rueda loca" y tornillo sin fin, lo que le permite tener dos grados de libertad para ser orientada respecto al acimut y a la altura solar fácil y cómodamente. Cabe destacar también que sus dimensiones son más compactas para un sencillo manejo del usuario.



Fig. 4. El inventor Wolfgang Scheffler cocinando con uno de sus prototipos.

En general, se puede decir que en los últimos años el desarrollo de la cocina solar ha llevado a que los diseños originales de acumulación y concentración se mezclen. A la mayor parte de las cocinas de caja se las equipa con un reflector que introduce el calor dentro del sistema de acumulación. El único inconveniente de estos sistemas mixtos es que encarecen su construcción. Sin embargo, el rendimiento energético mayor que permiten las hace muy interesantes. Eso sí, en el caso de las cocinas de caja, el aparato concentrador las vuelve más voluminosas y menos manejables. Los nuevos materiales, tanto en el campo del aislamiento como de la reflexión, permiten que en estos momentos haya cocinas de caja con reflector que, con una medida y precio razonable, alcancen los 160 °C [8].

El reflector Scheffler es uno de los sistemas más potentes de concentración de la luz solar. Wolfgang Scheffler, su inventor, es un físico alemán que a través de la asociación Solare Brücke e.V. enseña a construir este tipo de reflectores para proyectos de cocina en hospitales, escuelas, centros sociales, así como también para desalinizar agua u hornos crematorios, entre otros [8].

La tecnología es sencilla porque se trata de un reflector parabólico excéntrico hecho de planchas de aluminio brillante, flexible, que gira alrededor de un eje paralelo al eje de la Tierra y en sincronía con el del Sol. El reflector es una sección lateral de un paraboloide más grande cortado de manera inclinada, que le da la forma elíptica característica y única del reflector Scheffler. La luz solar que es reflejada lo hace sobre una sección del paraboloide y se proyecta sobre un punto situado a cierta distancia del reflector.

Un reflector Scheffler necesita disponer de un mecanismo de seguimiento solar. Sin embargo, está diseñado para que por la mañana se fije la posición del punto focal donde queremos que llegue el calor y el resto del día estará calentando siguiendo el Sol con un sencillo mecanismo de bicicleta (fig. 4). Scheffler construyó el primer reflector en 1986 (tenía 1.1 m x 1.5 m), y fue destinado a un proyecto de cocina solar en Kenya. Actualmente, existen unos 250 reflectores repartidos en 17 países [8].

La instalación más grande corresponde al centro de yoga de Abu (India) pensado para cocinar para unas diez mil personas con el vapor que generan los 84 reflectores alineados. Esta instalación se puede considerar una de las maravillas del aprovechamiento tecnológico del poder energético que nos aporta el Sol.

Una aplicación curiosa de la parábola Scheffler es el caso de un horno de pan en el pueblo de Omundaungilo (Namibia) con un reflector de 8 m² que actualmente se trabaja para mejorar. En este caso, la energía del reflector se introduce dentro de un horno convencional de tipo industrial que permite fabricar unos 16 panes en 90 minutos y ahorrar leña en un lugar donde no hay [8].

Actualmente hay diversos proyectos en marcha de aplicaciones del reflector Scheffler, como la parábola de 50 m² construida en Brennpunkt (India) para experimentar con la incineración de cadáveres, puesto que, según la religión hinduista, ser quemado por la luz del Sol posee una connotación mística especial.

Otro proyecto muy interesante es la aplicación doméstica del denominado reflector Scheffler de 2 m². Se trata de aprovechar todo el potencial energético de este concentrador a lo largo de todas las horas de Sol. Las posibilidades del reflector Scheffler son infinitas en el ámbito del aprovechamiento del calor solar. El principio físico que utiliza esta elipse y el rendimiento que se obtiene hacen que el reflector Scheffler se haya de considerar uno de los giros de las aplicaciones de la energía solar térmica. Actualmente Solar Brücke e.V. trabaja para conseguir que se fabriquen reflectores como una actividad que mejore el estilo de vida de los países más pobres [8].

1.2.- Justificación

Actualmente, un tercio de la humanidad depende de la leña para cocinar. El tradicional fuego a tierra rinde alrededor de un 10 % y el horno de leña aprovecha un

máximo de 25% del calor de la madera seca. Las cocinas de gas natural o vitrocerámicas actuales permiten aprovechar hasta un 30%. Con una cocina solar se pueden conseguir eficiencias de prácticamente el 50% [4].

Así, una actividad tan aparentemente inofensiva como cocinar los alimentos genera una importante cantidad de emisiones de gases a la atmósfera. Una familia puede consumir fácilmente unas 4 toneladas al año de leña para cocinar, las cuales liberan alrededor de unas 7.2 toneladas de dióxido de carbono. En términos generales, a nivel mundial, teniendo en cuenta que cerca de 2,000 millones de personas cocinan con fuego a tierra y leña, y el resto con sistemas más eficientes pero que también comportan la emisión de dióxido de carbono, se puede afirmar que alrededor de un 15% de los 6,000 millones de toneladas que se liberan a la atmósfera lo son por una actividad básica como es la cocción de alimentos [3].

Alrededor del 50% de los 3,200 millones de toneladas de madera recogida en todo el planeta se quema como combustible. En algunos lugares esta proporción llega a las cuatro quintas partes. Es decir, que un producto con tantas aplicaciones tecnológicas como la madera se acaba convirtiendo en calor, como si no se tuvieran otras fuentes de calor más limpias y renovables.

Las mujeres y los niños son los principales recolectores de leña como combustible para cocinar (fig. 5), lo cual representa el 80 % de la energía consumida en los hogares de los países en vías de desarrollo (un 40 % en Latinoamérica, un 60 % en África y un 80 % en Asia). Las mujeres dedican entre 1 y 5 horas al suministro de leña (fig. 6). En Haití, el 98 % de los árboles han sido talados para hacer fuego y cocinar; en Burkina Faso, el 90 %. Una comunidad rural tipo de un país no desarrollado destina el 89 % del consumo energético a la cocción de alimentos. Para la cocción, se usa esencialmente leña, restos forestales de los cultivos, excrementos y otros. Curiosamente, en muchos de estos lugares la irradiación solar es del orden de 1 kWh/m² [3].



Fig. 5. En comunidades rurales mujeres y niños invierten gran parte de su tiempo en la búsqueda de madera para cocinar.



Fig. 6. Entre 1 y 5 horas invierten las amas de casa en la recolección de leña.

Cerca de 2,000 millones de personas están afectadas por la denominada crisis de la leña. El déficit mundial de leña es de 1,000 millones de metros cúbicos al año. Como término medio, se calcula que el consumo por persona es de unos 225 kg al año (0.5 m^3), pero esta cifra, por ejemplo, varía según los países.



Fig. 7. Fotografía de una tradicional cocina de leña

Las consecuencias de esta presión se traducen en la deforestación de los bosques tropicales, la desertización y erosión de los suelos agrarios, las enfermedades y las alteraciones climáticas [4].

El consumo de estos 1,000 millones de metros cúbicos de leña para cocinar produce unas emisiones en la atmósfera de unos 825 millones de toneladas de dióxido de carbono (el equivalente al 41% de las emisiones de CO₂ de la Unión Europea: 2,000 millones de toneladas por año).

Las tasas de deforestación son muy elevadas alrededor del mundo (11.4% en Asia, 9.6% en África Occidental y 14 % en Latinoamérica). Los 1,756 millones de hectáreas de bosques tropicales censados en 1980 se han talado al ritmo de 11 millones anuales durante la década de los ochenta y 16 millones de hectáreas anuales durante los noventa, es decir, una superficie parecida a la de Portugal. La deforestación causada estrictamente por la tala de leña como combustible se calcula en unos 25,000 km²/año [3 y 4].

Otro aspecto considerado en el propósito de este trabajo, es el uso racional de la energía, pues se cree que por tener un aparato eléctrico muy eficiente se consume poca energía, pero no se considera lo siguiente: Todo lo que sea transformar electricidad en calor, supone en la mayoría de las veces un mal negocio energético, ya que implica gastar otros combustibles que pueden ser usados directamente como el carbón, petróleo o gas, para convertir el agua en vapor a presión en el interior de centrales térmicas, lo que hace

funcionar una turbina y el alternador que produce la electricidad. En este primer proceso se tiene un rendimiento del 40%, es decir, el otro 60% de la energía calorífica se pierde. Después, esta electricidad se transporta, con una pérdida de energía de alrededor del 7%, en un recorrido medio de 200 km. La distribución produce pérdidas de hasta 4%. Es decir, que el consumidor final para obtener el mismo objetivo de producir calor, gastará del 71 al 81% más de energía. Claro éste último no, pero sí la compañía eléctrica que le brinda el servicio.

Dada la gran diversidad de aplicaciones directas, los diferentes tipos de energía solar pueden adecuarse perfectamente a cualquiera de nuestras necesidades.

La cocina solar es el aparato del "hombre humilde" en muchas de las naciones en vías de desarrollo. El empleo de cocinas de este tipo es muy favorable en nuestro país que cuenta con el privilegio de recibir en gran cantidad los rayos solares, sin embargo, por ser uno de los países con mayor producción de hidrocarburos en el mundo no se la ha dado la debida atención a este tipo de proyectos.

Con la utilización de una estufa solar en una casa habitación se reduciría considerablemente el consumo del combustible utilizado para cocinar, que se traduciría en un gran ahorro energético y por ende económico. Además de que el mantenimiento que necesita es prácticamente mínimo.

1.2.1.- El consumo de leña para cocción de alimentos a nivel nacional

Conforme a la tendencia creciente observada en la década 1980-1990 (Tabla 1), los usuarios de leña al año 2000 habrían alcanzado los 27.5 millones de personas. La aportación de los subsectores rural y urbano sería de 17.5 y 9.9 millones de personas respectivamente (Tabla 2).

Tabla 1.- Consumo de leña por Estados hasta 1992 [9].

Estado	Población Total	Usuarios de Leña		Usuarios Mixtos		Total de Usuarios		Total Nacional
		Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	
Aguascalientes	714542	29450	6775	115857	3388	145307	10163	155470
Baja California	1615395	11311	11837	83184	5919	94495	17756	112250
Baja California Sur	309966	20224	6420	23001	3210	43225	9630	52855
Campeche	525660	121687	61676	32658	30838	154345	92514	246859
Coahuila	1955567	76588	15313	178607	7657	255195	22970	278165
Colima	420397	23648	16799	37821	8400	61469	25199	86668
Chiapas	3184658	1710747	353730	150447	176865	1860594	530595	2391189
Chihuahua	2398319	262975	54578	249258	27289	512233	81867	594100
Distrito Federal	8163961	2721	35788	18280	17894	21001	53682	74683
Durango	1342285	231060	39925	302376	19963	533436	59888	593324
Guanajuato	3933098	650748	132739	602324	66370	1253072	199109	1452180
Guerrero	2580189	1055122	285546	161226	142773	1216348	428319	1644667
Hidalgo	1869089	727113	106286	272671	53143	999784	159429	1159213
Jalisco	5235463	369418	94099	458123	47050	827541	141149	968690
Edo. de México	9758406	872009	342166	595655	171083	1467664	513249	1980913
Michoacán	3494088	748681	272856	422506	136428	1171187	409284	1580471
Morelos	1184235	66547	87907	98220	43954	164767	131861	296627
Nayarit	807003	101642	11484	108357	5742	209999	17226	227225
Nuevo León	3075173	123754	25309	43286	12655	167040	37964	205003
Oaxaca	3019560	1607337	380364	170135	190182	1777472	570546	2348018
Puebla	4103102	1152082	524851	260670	262426	1412752	787277	2200029
Querétaro	1041425	253453	33368	152537	16684	405990	50052	456042
Quintana Roo	479664	100826	47221	23207	23611	124033	70832	194865
San Luis Potosí	1990592	713755	104900	0	52450	713755	157350	871105
Sinaloa	2173603	270636	37356	260620	18678	531256	56034	587290
Sonora	1798442	124690	36324	130694	18162	255384	54486	309870
Tabasco	1493087	450396	70412	236748	35206	687144	105618	792762
Tamaulipas	2221638	184159	47783	102598	23892	286757	71675	358432
Tlaxcala	758762	72712	104312	98858	52156	171570	156468	328038
Veracruz	6183387	1970500	413192	507597	206596	2478097	619788	3097885
Yucatán	1354285	243483	313470	36834	156735	280317	470205	750522
Zacatecas	1271214	220360	19552	323211	97776	543571	29328	572899
Nacional	80456255	14569234	4094338	6257566	2047169	20826800	6141507	26968307

Tabla 2. Usuarios de leña 1960 -2000

Año	Total	Usuarios Exclusivos de Leña	Usuarios Mixtos	Tasa Media de Crecimiento Anual (%)		
				Total	Exclusivos	Mixtos
1960	23'708,908	22'617,314	1'091,594			
1970	27'026,047	21'252,909	5'773,138	1.3	-0.6	18.1
1980	26'802,406	19'864,432	6'937,974	-0.1	-0.7	1.9
1990	26'968,307	18'663,572	8'304,735	0.1	-0.6	1.8
2000	27'479,514	17'538,614	9'940,900	0.2	-0.6	1.8
Periodo 1960-2000				0.4	-0.6	5.7

En el documento "Patrones de consumo de leña en tres micro-regiones de México". (Proyecto: FAO/MEX/TCP/4553 A), se consignan algunos datos: La demanda total del energético alcanza las 26 millones de toneladas/año (equivalentes a 37 millones de m³/año o 414 PJ/año), volumen más de cuatro veces mayor a la producción comercial de madera en rollo para fines industriales en el país. Asimismo, se consigna que el consumo per cápita promedio en las micro-regiones de referencia es de 2.1 kg/día. Sin embargo, si se aplicara el consumo diario promedio en las regiones estudiadas, al número total de usuarios de leña en México conforme a los datos consignados en el presente documento, se tendría un consumo total de aproximadamente 21 millones de toneladas/año.

1.2.2.- Ventajas que ofrecen las cocinas solares

Rentabilidad

- La amortización del sistema está en función del uso
- Después funciona sin costos durante muchos años
- El Sol no sube sus precios

Reducción del trabajo

- No hace falta limpiar la parte exterior de la olla

- Ya no hay que secar la madera mojada en épocas de lluvia

Salud

- Se evitan las dolencias de las vías respiratorias a causa del humo
- Desaparecen las inflamaciones de los ojos
- No se propicia el cáncer de pulmón

Suministro

- Se acabaron las largas marchas a pie para buscar madera
- No hay costos para la compra de madera

Seguridad

- Ningún peligro de quemaduras, sobre todo para los niños
- Ningún peligro de incendio en las cabañas

Economía

- La instalación de estufas solares crea puestos adicionales de trabajo

Ecología

- Las emisiones de CO₂ se reducen a cero
- La tala de árboles ya no es necesaria
- Las emisiones producidas por el transporte de la madera desaparecen
- Se reduce la contaminación del aire
- Ya no hace falta utilizar biomasa para cocinar

Global

- Autodefensa contra la destrucción del medio ambiente y la catástrofe climática mundial

Capítulo 2

Diseño y construcción

Una de las justificaciones sobre el diseño de ésta estufa solar son las altas temperaturas alcanzadas en aceites comestibles (superiores a los 200 °C), con lo que permite que su uso no sea exclusivo para hervir, sino que también tiene la capacidad de freír alimentos.

El diseño se fundamenta de una tecnología que capte y transforme la energía solar en energía calorífica de la forma más eficiente posible y sin provocar algún daño al personal que la opere. Su forma geométrica y la disposición de los elementos que la componen interactúan para dar origen a una estufa solar con características propias de funcionamiento. Estas características son las que diferencian al modelo de estufa aquí presentado con respecto a las que ya existen.

Las herramientas necesarias para el diseño del prototipo, además de la experiencia de trabajar con otros tipos de estufas son las relaciones empíricas de geometría analítica y transferencia de calor y el software Autocad 2002.

El diseño tiene una forma de mariposa con las alas extendidas las cuales se pueden abatir para disminuir sus dimensiones y poder ser resguardada. También su funcionamiento permite evitar los destellos hacia el rostro del usuario.

Con las dimensiones del prototipo se busca que sea eficiente comparada con otras de su tipo y disminuir los tiempos de cocción de los alimentos.

La curva de la parábola no es perfecta, por lo cual se puede obtener en el foco un área de absorción de 25 cm de diámetro en la cual se puede colocar un dispositivo de cocción tratando que la distribución de calor sea semejante en toda esta área.

Si la parábola fuera perfecta se obtendría en el foco un punto y la distribución de calor no sería la apropiada para cocinar alimentos.

Metodología de construcción:

- Diseño del prototipo calculando dimensiones y alcances del diseño.
- Corte de metales para fabricación de la estructura principal y de la

- superficie reflejante.
- Soldar cada uno de los componentes de la estructura.
- Fabricación del mecanismo de seguimiento solar.
- Cubrir con pintura anticorrosiva toda la armazón del prototipo.
- Corte y colocación de la superficie reflejante.
- Pruebas para determinar la adecuada posición de los espejos.
- Diseño del soporte que sostendrá el recipiente donde se cocinarán los alimentos.
- Seleccionar y acondicionar los recipientes que servirán para preparar la comida.
- Pruebas finales de funcionamiento.

2.1.- Ecuaciones que gobiernan en el diseño

Para lograr obtener un óptimo desempeño de la estufa solar y que sea apegado a las definiciones matemáticas que rigen la forma parabólica de la superficie reflejante, así como a la relación geométrica entre el captador y el recipiente absorbedor se emplearon las siguientes ecuaciones:

- Ecuación canónica de una parábola [5]:

La forma canónica de la ecuación de una parábola con vértice (h, k) y directriz $y = k - p$ es:

$$(x - h)^2 = 4p(y - k) \text{ eje vertical.} \quad (1)$$

Para la directriz $x = h - p$, la ecuación es:

$$(y - k)^2 = 4p(x - h) \text{ eje horizontal.} \quad (2)$$

- Definición del área de superficie de revolución [5]

$$S = 2\pi \int_a^b r(x) \sqrt{1 + [f'(x)]^2} dx \quad (3)$$

siendo:

$r(x)$ = la distancia entre la gráfica f y el eje de revolución correspondiente.

- El cálculo de la eficiencia térmica del equipo se basa en el balance de energía considerando las diversas formas de energía entre los elementos que la componen, siendo para este caso (fig. 8) [2]:

$$q_u = q_{abs} - q_p = q_{abs} - U_c(T_c - T_a)A_r \quad (5)$$

donde

q_u = Calor útil entregado al fluido de trabajo [W]

q_p = Calor perdido

$$q_{abs} = \eta_o A_a G_d \quad (6)$$

Siendo:

A_a = Área de apertura [m^2]

A_r = Área del absorbedor [m^2]

G_d = Irradiancia solar directa incidente sobre el colector $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

T_a = Temperatura del aire ambiente [$^{\circ}C$].

T_c = Temperatura del absorbedor [$^{\circ}C$].

U_c = Coeficiente global de transferencia de calor $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right]$

η_o = Eficiencia óptica.

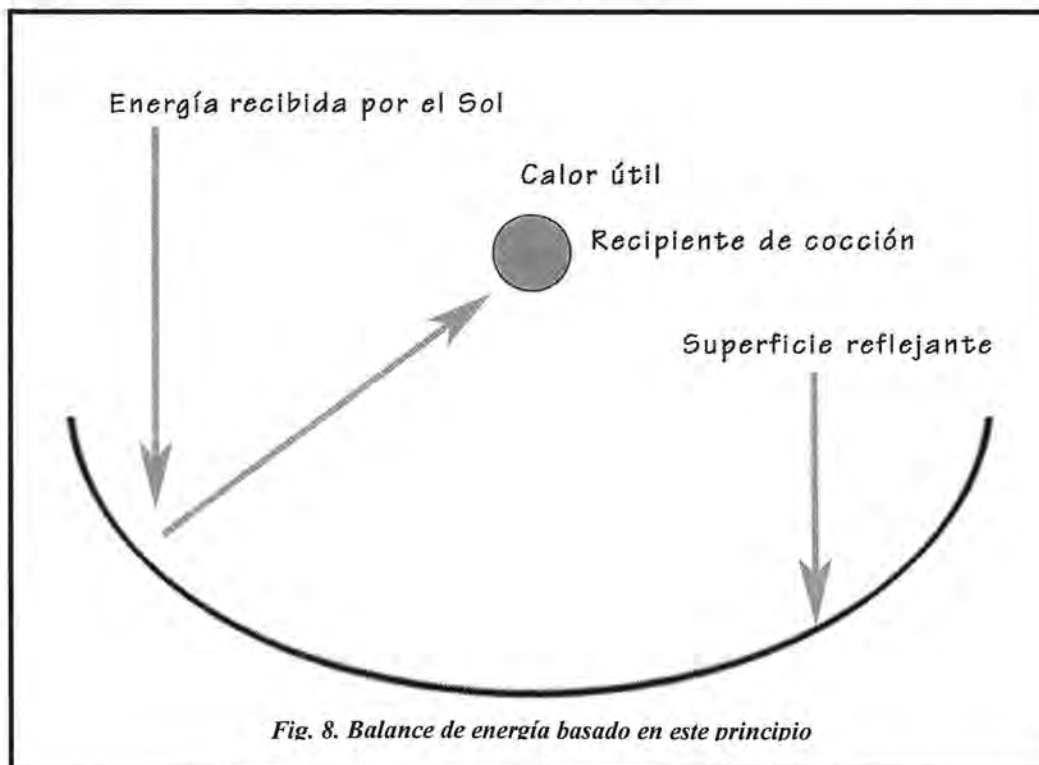


Fig. 8. Balance de energía basado en este principio

- Eficiencia instantánea del colector [2]

$$\eta_c = \frac{q_u}{G_d A_a} \quad (7)$$

entonces

$$\eta_c = \eta_o - \frac{U_c (T_c - T_a)}{G_d} \frac{1}{C} \quad (8)$$

siendo:

C = la razón de concentración

$$C = \frac{A_a}{A_r} \quad (9)$$

- Eficiencia óptica [1]

$$\eta_o = \ell_R \tau \alpha \gamma F f_i$$

(10)

siendo:

f_i = Fracción de la apertura no sombreada por soportes y absorbedor.

F = Error en el seguimiento.

α = Absortancia del absorbedor.

γ = Factor de forma que depende de los errores en la pendiente del espejo y de la otra disposición que sufre la irradiancia solar directa incidente.

ℓ_R = Reflejancia del espejo.

τ = Transmitancia de la envolvente del absorbedor.

Los parámetros anteriores son adimensionales y sus valores típicos son del orden de 0.90 a 0.95 con excepción de ℓ_R cuyo valor está entre 0.75 y 0.85, según la calidad del reflector.

2.2.- Materiales de construcción

Materiales primarios: Son aquellos que influyen directamente en la eficiencia del concentrador como lo son la superficie reflejante y el absorbedor.

- Para este modelo como espejos reflectores se utilizó lámina de aluminio marca Alanod modelo 310 con una reflejancia de 0.87 y claridad de imagen del 95%. Esta reúne las características de un buen espejo [Datos de fabricante].
- La superficie absorbedora corresponde al recipiente de cocción al cual se la ha aplicado pintura negra mate con absortancia de 0.92 y emisividad de 0.08 [2].

Materiales secundarios.- Son los que componen la estructura de la estufa y los soportes: Ángulos, varilla cuadrada, PTR, solera, soldadura eléctrica, remaches, entre otros.

Cuadro 3.- Material utilizado en la construcción del prototipo.

<i>Cantidad/unidad</i>	<i>Material</i>	<i>Uso</i>
3 m	PTR 1" x 1/8"	Estructura principal y soporte de la estufa
12 m	Ángulo 3/4" x 1/8"	Marco de la superficie reflejante
1/2 m	Cold rol 1/2"	Eje de las ruedas
6 m	Varilla cuadrada 3/8"	Soporte de espejos y área focal
1 pliego	Lámina de aluminio	Superficie reflejante
100	Remaches	Para sujetar espejos
4 botes	Pintura spray	Acabado del acero
1/2 bote	Prymer	Anticorrosivo
3	Llantas	Para dar libertad de movimiento al prototipo
Varios		Soldadura y tornillería.

2.3.- Calidad de la superficie reflejante

La calidad de los espejos es un término muy complejo que abarca un gran número de factores que afectan el costo final del sistema solar captador.

Una de las propiedades que caracterizan una superficie reflejante para aplicaciones solares es la reflejancia espectral, esta mide la habilidad de una superficie y su eficiencia para poder reflejar la irradiancia incidente. Existen muchos materiales que reflejan eficientemente en un punto del espectro pero son muy pobres en otros. Por ejemplo, el cobre y el oro son buenos reflectores en el infrarrojo pero son ineficientes para reflejar energía solar en el visible. Los mejores reflectores de energía solar son la plata y el aluminio.

Existe otra propiedad muy importante que es la especularidad, es básicamente la cantidad de energía que se refleja directamente de la superficie reflectora con el mismo ángulo que el haz incidente contenida dentro de un ángulo sólido.



Fig. 9. Construcción del soporte de la superficie reflectora

Características que debe reunir una buena superficie reflejante:

- El valor de su reflejancia no debe ser menor del 85%.
- Debe ser altamente especular, es decir, el espejo debe ser capaz de reflejar la energía solar en un haz que se dispersa en menos de dos miliradianes.
- La propiedad de reflejancia de los espejos debe conservarse por varios años en condiciones ambientales normales (por lo menos cinco años).
- Su mantenimiento en el lugar de trabajo debe ser sencillo o en su caso la sustitución del mismo debe ser fácil.
- Debe tener bajo costo, con el fin de que la inversión sea mínima.
- Debe tener resistencia a la radiación ultravioleta así como poca degradación ambiental.



Fig. 10. El diseño y construcción del soporte

Características que debe reunir un buen recipiente absorbedor:

Si un cuerpo absorbe energía solar y emite energía radiante característica de su temperatura, la temperatura en equilibrio final del cuerpo es directamente proporcional a la relación α/ϵ , donde α es la absorptancia y ϵ la emitancia. Para ello se necesita una superficie con alta absorción en la banda de emisión solar y baja emitancia en el intervalo de emisión de un cuerpo negro (es decir una relación α/ϵ alta), esta superficie se llama selectiva [2].

De entre las superficies absorbedoras de mayor eficiencia el negro mate no es el mejor, pero dado su bajo costo y características térmicas representa una excelente alternativa.

2.4.- Descripción y ventajas de la construcción

El prototipo es similar a una mariposa con las alas extendidas, está compuesto por dos cuartas partes de una superficie parabólica de revolución, dispuestas de tal forma que permite al cocinero ubicarse frente al recipiente de cocción sin sufrir destellos por la irradiación reflejada ya que no contiene superficie reflectora en la parte frontal de la parábola. La manufactura es totalmente de la región y se realizaron los ensayos necesarios para lograr un óptimo funcionamiento del modelo. Además los materiales utilizados garantizan una larga vida del sistema.

Es un prototipo que trabaja con la irradiancia directa del Sol. Los rayos de Sol incidentes que llegan al espejo se concentran en un punto (el foco) en el cual se encuentra el recipiente donde se cocina. Para mantener este foco se orientan los espejos de forma

biáxica hacia el Sol. Esto se consigue por un lado con el giro del soporte en el cual se encuentran los espejos y por otro, girando todo el armazón de la cocina.

Elementos que la componen:

Superficie reflejante.- Está fabricada de lámina de aluminio "Alanod 310", con calidad reflectora de 87% y claridad de imagen del 95%. La forman dos cuartas partes de una superficie parabólica.

Recipiente de cocción.- En este prototipo se consideraron dos modelos diferentes de recipientes, el primero es una olla de presión de cuatro litros de capacidad, pintada de color negro mate con la cual se pretende tener un buen rendimiento de la estufa. El otro, es un recipiente-cazo de aluminio con capacidad para tres litros, pintado también de negro mate, y con tapa de cristal a través de la cual se puede observar el proceso de cocción.

Estructura.- Fabricada de acero, soporta el peso de la superficie reflejante y de los alimentos colocados en el punto focal, es de manufactura sencilla y unida a base de soldadura eléctrica (fig. 11).

Mecanismo de orientación.- Para lograr los grados de libertad se implementaron dos sistemas sencillos, el primero, formado por dos ruedas normales y una "rueda loca" la cual hace que la estufa gire sobre su propio eje. El segundo, a través de un tornillo sin fin y dos tuercas que favorecen la inclinación de todo el sistema (fig. 12).



Fig. 11. Parte de la estructura de la estufa



Fig. 12. Mecanismo de orientación de tres ruedas



Fig. 13 y 14. Estructura metálica del dispositivo solar e instalación de la superficie reflejante

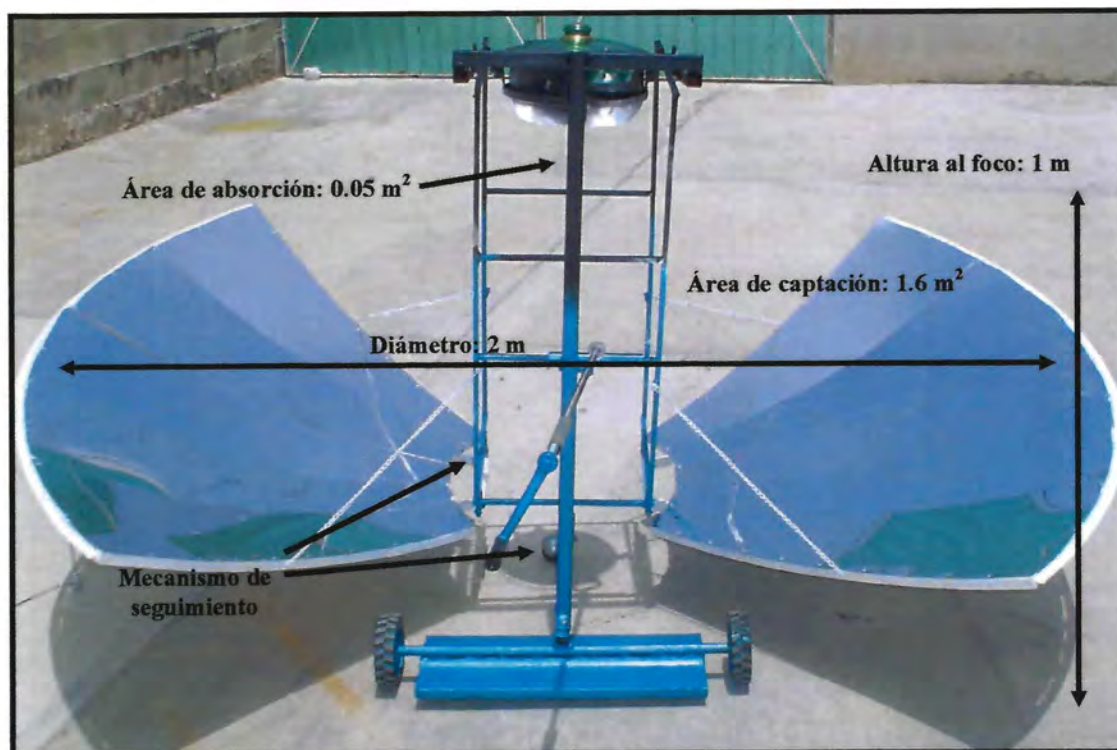


Fig. 15. Datos y dimensiones del prototipo ya terminado

Capítulo 3

Puesta en operación y pruebas

En este apartado se describe de forma práctica y sencilla el modo de operación de la estufa solar para darle un adecuado uso y aprovechar al máximo su funcionamiento.



Fig. 16. El usuario debe colocarse adecuadamente por la parte trasera de la estufa. En donde no hay peligro de destellos que puedan ocasionar molestias en la vista, ya que adelante no hay ninguna superficie reflectora.



Fig. 17, 18 y 19. En estas fotografías se muestra a un usuario orientando de manera fácil la estufa solar para un óptimo desempeño. El cocinero(a) puede estar de pie sobre el suelo mientras cocina. Esto garantiza también que cuando haya que remover la comida con fuerza esté seguro de pie.



Fig. 20, 21 y 22. Aquí se puede observar lo fácil que es manejar ésta estufa para cualquier usuario, ya que su mecanismo en forma de alas se abate verticalmente cuando no esté en funcionamiento. De esta forma, adquiere dimensiones compactas y protege la superficie reflejante de influencias externas. Al estar dotada con ruedas puede pasar por cualquier puerta de una casa. Esto presenta una gran ventaja ya que a simple vista parece un artefacto muy aparatoso pero es fácil de guardar y transportar cuando no esté en uso.

3.1.- Comportamiento de la estufa solar

Con el fin de conocer el comportamiento de la estufa solar se realizaron 15 pruebas.

El monitoreo de este prototipo se realizó durante las horas de mayor irradiación solar, utilizando como fluido de trabajo agua y aceite comestible (gráficas 1 y 2).

Para las mediciones de la irradiancia solar y la temperatura se utilizaron un Piranómetro marca Eppley modelo 8-48 y un multímetro digital Mastech modelo MAS830L, y un Sistema Adquisitor marca Stanford modelo SR630 donde se conectó un termopar tipo "t".

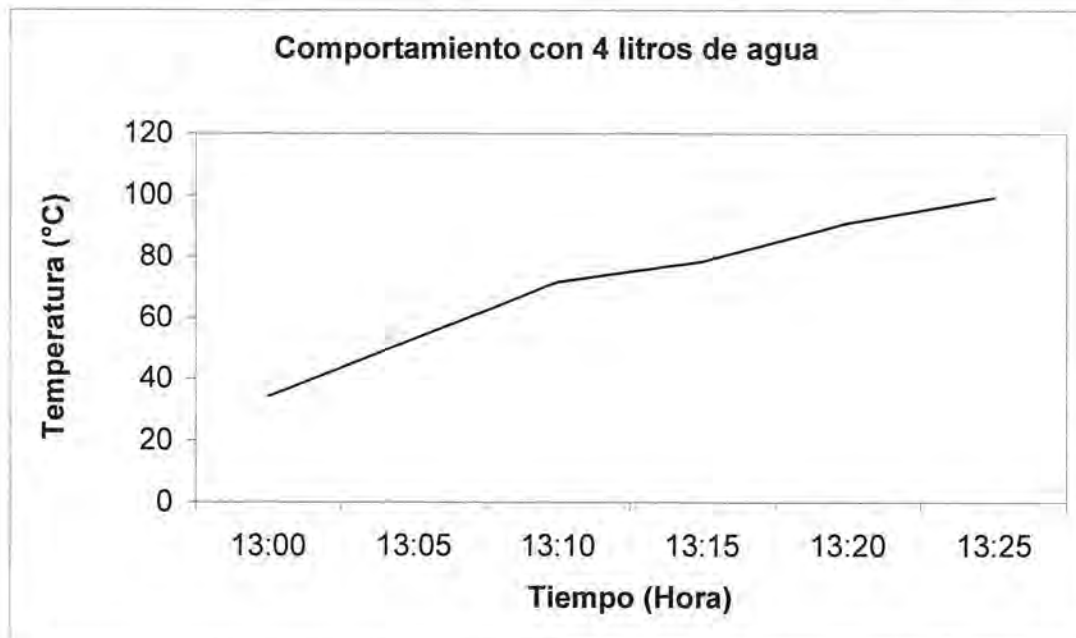


Fig. 23 (Gráfica 1) Los datos anteriores fueron tomados en la ciudad de Chetumal. El agua hervía a 99.4 °C, viento en calma. Con una irradiancia solar directa promedio de 782 W/m² y temperatura ambiente promedio de 33 °C.

En ésta gráfica se puede apreciar el aumento gradual de la temperatura del agua que alcanzó el punto de ebullición a los 25 minutos de haberse puesto en operación el proceso. Las mediciones de irradiancia solar y temperatura se tomaron cada cinco minutos.

En la siguiente gráfica se puede observar claramente la influencia que tiene la interrupción de la irradiancia solar directa sobre el rendimiento de la estufa. También es de

Capítulo 3.- Puesta en operación y pruebas

notar que el aceite logra su máxima temperatura en un lapso de 50 minutos para después permanecer casi constante.

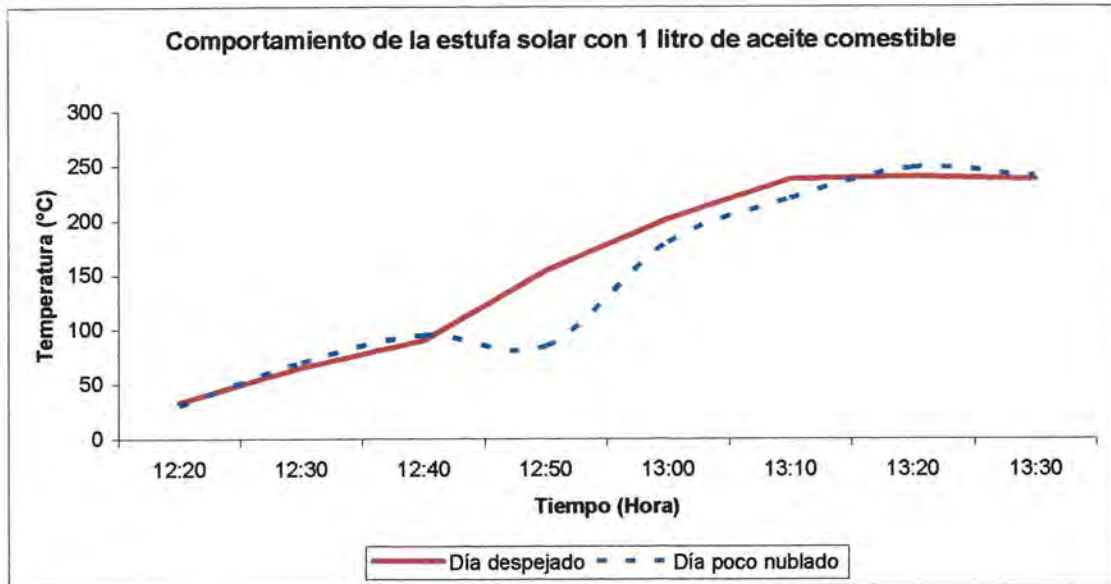


Fig. 24. (Gráfica 2) Aquí se puede apreciar la comparación de la temperatura del aceite para un día poco nublado (irradiación solar directa promedio = 680 W/m^2 y temperatura ambiente promedio = $32 \text{ }^\circ\text{C}$), y un día despejado, con una irradiación de 760 W/m^2 y temperatura ambiente de $33 \text{ }^\circ\text{C}$. En ambos casos se llegó al punto de ebullición del aceite.

3.2.- Eficiencia de la cocina

Utilizando las ecuaciones 5, 6, 7, 8, 9 y 10, y con base en los datos experimentales se obtienen los siguientes resultados.

Eficiencia óptica $\eta_o = 0.62$

Eficiencia instantánea de la estufa solar $\eta_c = 0.49$

Potencia media de la estufa solar: 608 Watts

Cuadro 4.- Datos técnicos

Material del armazón	Hierro
Material del espejo	Chapa laminada de aluminio, reflexión 87%
Peso total	25 kg aprox.
Medidas	Abierto, 2 metros y cerrado, 0.7 metros
Superficie de espejos	1.6 m ²
Área de absorción	0.05 m ²
Potencia media	608 Watts
Rendimiento medio*	49%

* Depende de las condiciones instantáneas y posición de la estufa solar.

3.3.- Pruebas

Con la finalidad de evaluar el desempeño de la estufa solar se realizaron diferentes pruebas de operación cocinando algunos alimentos, diferentes en consistencia, masa e ingredientes.

3.3.1.- Cocción de alimentos

🍴 Caldo de pollo con verduras

Masa: 3 kg

Para 6 raciones

Irradiancia solar promedio 770 W/m^2



Tiempo de cocción: 50 minutos

En lo que respecta a la consistencia del guisado se pudo observar que la carne y las verduras quedaron suaves, excelentes para digerir y de sabor bastante agradable. Además de que el tiempo de cocción se puede comparar con el de una estufa convencional.

 **Puerco frito**

Masa: 1 kg

Para 4 raciones

Irradiancia solar promedio 750 W/m²



Tiempo de cocción: 40 minutos

En esta ocasión se decidió por carne un poco más dura, los resultados fueron alentadores, pues la consistencia y el sabor fueron excelentes para satisfacer algunos paladares exigentes.

🌈 **Costillas de puerco en salsa verde**

Masa: 2 kg

Para 5 raciones

Irradiancia solar promedio 780 W/m²



Tiempo de cocción: 50 minutos

Con este guiso quedaron comprobados los alcances que tiene la estufa solar, pues las costillas de puerco tenían muy buen sabor además de una suavidad excelente. Ideal para consumir.

3.3.2.- Análisis de operación

Ventajas en el empleo de esta cocina solar

- El cocinero puede colocarse directamente delante de donde se cocina
- No hay peligro de ceguera, ya que en la parte de adelante no hay ninguna superficie reflectora que pueda dañar al usuario.
- Las comidas que rebosan por hervir demasiado no caen al espejo, ya que debajo de donde se cocina no hay ningún tipo de superficie reflectora.
- El cocinero puede estar de pie mientras cocina. Esto garantiza también que cuando haya que remover la comida con fuerza, el cocinero esté seguro de pie.
- Cuando no se necesite el dispositivo se abaten los espejos en forma vertical. Esto garantiza unas dimensiones compactas y protege la superficie del espejo de influencias externas.
- Está dotada de ruedas y puede pasar por cualquier puerta de una casa.

Algunas desventajas

- Los aspectos socio-culturales, cocinar al aire libre y bajo los inclementes rayos del Sol.
- Por otra parte, en las zonas rurales los alimentos se preparan a muy temprana hora del día para regresar por la tarde o noche a cenar, condiciones en las que es casi imposible disponer del recurso solar.
- Los destellos no deseados de la estufa por haces luminosos fuera de foco lastiman la vista, pero con una adecuada orientación estos se pueden evitar.
- Una interrupción de la iluminación solar o la ausencia de ésta, afecta directamente el proceso de cocción.

De acuerdo a las características del agua con que se cuenta en diferentes Estados de la República Mexicana éste prototipo de estufa solar puede ser utilizado además de cocinar alimentos para hervir agua y mediante un proceso sencillo de filtración se puede conseguir agua para tomar. Las aplicaciones que puede tener esta estufa son diversas dependiendo de las necesidades de cada usuario.

Capítulo 4

Análisis económico

En éste capítulo se presenta un estudio de la viabilidad económica de un proyecto de fabricación de estufas solares con fines comerciales aprovechando la experiencia hasta ahora adquirida en la manufactura de este tipo de dispositivos.

4.1.- Pronóstico de ventas

El aprovechamiento de la capacidad de producción se incrementará paulatinamente, debido a la penetración que logre el proyecto en el mercado. Asimismo, conforme al personal encargado de la operación, supervisión y administración de los procesos productivos y comerciales adquiera la capacitación indispensable para mejorar los objetivos.

Se consideró también que la empresa se dedica a otras actividades relacionadas con las fuentes renovables de energía.

De acuerdo a una encuesta realizada en la feria sobre ahorro de energía, llevada a cabo en la ciudad de Chetumal, Q. Roo, del día 3 al 6 de agosto de 2004, y donde se expuso la estufa solar, se ha previsto que las ventas y en consecuencia la producción del proyecto durante sus primeros años de operación podría ser como sigue:

Tabla 3

Periodo anual	Producción (unidades/año)	Aprovechamiento de la capacidad instalada (%)
1	240	69
2	270	77
3	300	86
4	330	94
5	350	100

4.2.- Cálculo del costo de producción

Materia prima (por unidad fabricada)

El material básico que se empleará en el proceso de fabricación de la estufa solar esta constituido de acero y de lámina reflectora de aluminio, de procedencia mexicana, como se puede ver en la siguiente tabla en donde se incluye su precio de compra.

Tabla 4

Cantidad	Material	Precio
3 m	PTR 1" x 1/8"	\$57.00
12 m	Ángulo 3/4" x 1/8"	\$130.00
½ m	Cold rol ½"	\$60.00
6 m	Varilla cuadrada 3/8"	\$48.00
1 pliego	Lámina de aluminio	\$700.00
100	Remaches	\$58.00
4 botes	Pintura spray	\$126.00
1/2 bote	Prymer	\$30.00
3	Llantas	\$215.00
Varios	Tornillería, soldadura, otros	\$150.00
	Total	\$1,574.00

Electricidad (por unidad fabricada)

El costo de la electricidad para el proyecto se calculó primeramente determinando la demanda de energía por unidad fabricada en base a la carga conectada y al tiempo estimado de utilización de cada equipo. Resultando un consumo de energía eléctrica por unidad fabricada de 12.41 kW-hr.

Tabla 5

Motor de:	N. de Unidades	kW por unidad	Horas de uso	kW-hr totales
Máquina soldadora	1	8.2	1.3	10.66
Taladro	1	0.5	2	1
Sierra de disco	1	0.75	1	0.75
Total				12.41

Posteriormente se considero la tarifa 2, referente a la tarifa general de baja tensión vigente de \$1.901 el kW-hr que al multiplicarlo por su demanda de 12.41 kW-hr, resulta un:

Costo por unidad construida de \$23.59

Mano de obra (anual)

Para la construcción de las estufas solares es necesario contar con un soldador, un trazador y un ayudante general, los cuales desempeñarán otras funciones dentro de la misma empresa, y por lo tanto, sólo se consideró su parte proporcional a media semana de salario, que será el que dedicarán a la fabricación de las estufas.

Tabla 6

	No. De plazas	Sueldo semanal	Total anual
A. Directa			
Soldador	1	\$500.00	\$24,000.00
Trazador	1	\$350.00	\$16,800.00
ayudante	1	\$350.00	\$16,800.00
	Total*		\$74,880.00
B. Indirecta			
Supervisor general	1	\$1,000.00	\$48,000.00
	Total*		\$62,400.00

* El sueldo total incluye 30% de prestaciones

Costo de maquinaria y equipo

Para este caso se tomó en consideración la adquisición del equipo necesario para la fabricación de la estufa solar tomando como base los precios que hay actualmente en la localidad.

Tabla 7

Unidades	Descripción	Costo
1	Máquina de soldar	\$1,750.00
1	Cizalla	\$1,500.00
1	Tornillo de banco	\$1,200.00
1	Taladro	\$600.00
1	Sierra circular	\$1,100.00
	Accesorios y herramientas	\$1,200.00
	Total	\$7,350.00

Equipo y maquinaria de servicios industriales

Se consideró la adquisición de un automóvil el cual se usará para adquirir el material que se utilizará en la fabricación de las estufas solares, así como para otras diligencias relacionadas con este giro. También se contempla aquí la parte proporcional correspondiente a los gastos de oficina que se harán en la empresa.

Tabla 8

Unidades	Descripción	Costo
1	Automóvil	\$50,000.00
	Muebles y accesorios para oficina	\$1,500.00
	Total	\$51,500.00

Presupuesto de la inversión fija del proyecto

Esta se calculó a partir de los activos fijos tangibles (Tabla 7 y 8) y abajo de la siguiente tabla se mencionan los respectivos porcentajes para cada uno de los conceptos que se mencionan a continuación.

Tabla 9

Concepto	Total
Equipo y maquinaria de fabricación	\$7,350.00
Equipo y maquinaria de servicios industriales	\$51,500.00
Subtotal (activos fijos tangibles)	\$58,850.00
Gastos de desarrollo y obtención de tecnología	
Planeación e integración del proyecto	\$2,000.00
Ingeniería del proyecto ¹	\$2,942.50
Supervisión de la construcción ²	\$2,942.50
Administración del proyecto ³	\$588.50
Subtotal (activos fijos intangibles)	\$8,473.50
Imprevistos⁴	\$6,732.35
Total: Inversión fija del proyecto	\$74,055.85

¹ 5% de costo fijo de la planta (Activos fijos tangibles)

² 5% de costo fijo de la planta

³ 1% de costo fijo de la planta

⁴ 10% de la inversión de activos fijos tangibles e intangibles

Depreciación y amortización de la inversión fija

En esta tabla se indica cuales serán los cargos anuales por depreciación de activos tangibles y amortización de activos intangibles y se consideró del 10% anual del monto total por cada concepto.

Tabla 10

Concepto	Inversión inicial	Tasa de depreciación anual (%)	Depreciación o amortización anual				
			1	2	3	4	5
Equipo y maquinaria de fabricación	\$7,350.00	10	\$735.00	\$735.00	\$735.00	\$735.00	\$735.00
Equipo y maquinaria de servicios industriales	\$51,500.00	10	\$5,150.00	\$5,150.00	\$5,150.00	\$5,150.00	\$5,150.00
Gastos de desarrollo y obtención de tecnología							
Planeación e integración del proyecto	\$2,000.00	10	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00
Ingeniería del proyecto	\$2,942.00	10	\$294.20	\$294.20	\$294.20	\$294.20	\$294.20
Supervisión de la construcción	\$2,942.00	10	\$294.20	\$294.20	\$294.20	\$294.20	\$294.20
Administración del proyecto	\$588.50	10	\$58.85	\$58.85	\$58.85	\$58.85	\$58.85
Total	\$67,322.50		\$6,732.25	\$6,732.25	\$6,732.25	\$6,732.25	\$6,732.25

Presupuesto del costo de producción

Con el propósito de anticipar los resultados económicos que producirá el proyecto se han calculado los costos de producción que estarían vigentes durante los próximos cinco años

En este cálculo se ha considerado una tasa promedio de inflación de 4.25% anual.

Tabla 11

Concepto	Periodo anual				
	1	2	3	4	5
Volumen de producción	240	270	300	330	350
Materia prima	\$377,760.00	\$443,041.65	\$513,189.91	\$588,500.53	\$650,694.34
Electricidad	\$5,661.94	\$6,640.39	\$7,691.79	\$8,820.56	\$9,752.73
Empaques	\$12,000.00	\$14,073.75	\$16,302.09	\$18,694.43	\$20,670.09
Mano de obra directa	\$74,880.00	\$78,062.40	\$81,380.05	\$84,838.70	\$88,444.35
Costos directos	\$470,301.94	\$541,818.19	\$618,563.84	\$700,854.22	\$769,561.50
Depreciación y amortización	\$6,732.25	\$6,732.25	\$6,732.25	\$6,732.25	\$6,732.25
Mano de obra indirecta	\$62,400.00	\$65,052.00	\$67,816.71	\$70,698.92	\$73,703.62
Rentas	\$4,200.00	\$4,378.50	\$4,564.59	\$4,758.58	\$4,960.82
Costos indirectos	\$73,332.25	\$76,162.75	\$79,113.55	\$82,189.75	\$85,396.70
Costos de producción	\$543,634.19	\$617,980.94	\$697,677.39	\$783,043.97	\$854,958.20
Costo unitario	\$2,265.14	\$2,288.82	\$2,325.59	\$2,372.86	\$2,442.74

4.3.- Gastos generales

Costos de venta y distribución (anual)

Los costos de venta y distribución incluyen únicamente una parte fija que corresponde a los sueldos base del personal que tendrá a su cargo este departamento y que serán compartidos en partes proporcionales con otras actividades de la empresa.

Tabla 12

	No. De plazas	Semanal	Total anual
Agente de ventas	1	\$700.00	\$33,600.00
Gastos de oficina	1	\$100.00	\$4,800.00
Vehículo	1	\$400.00	\$19,200.00
Total*			\$74,880.00

* El sueldo total incluye 30% de prestaciones

Gastos administrativos (anual)

Se refiere básicamente a los sueldos que tendrá a su cargo la organización productiva y administrativa de la planta industrial, y en general todos aquellos gastos referentes a la

administración, y que están incluidos en los costos de mano de obra indirecta antes mencionados.

4.4.- Determinación del estado de resultados

Ingresos anuales por ventas

Teniendo en cuenta el pronóstico de producción expresado en la tabla 3 y considerando los precios de venta que a continuación se presentan se ha calculado el presupuesto de ingresos en los próximos cinco años de operación del proyecto.

Tabla 13

Año	Pronóstico de ventas (Unidades)	Precio de venta	Ingresos por ventas
1	240	\$2,765.14	\$663,633.60
2	270	\$2,788.82	\$752,981.40
3	300	\$2,825.59	\$847,677.00
4	330	\$2,872.86	\$948,043.80
5	350	\$2,942.74	\$1,029,959.00

Estado de pérdidas y ganancias

En la siguiente tabla se calculó el flujo neto efectivo que se obtendrá en los primeros cinco años de existencia del proyecto. Se puede observar que en el quinto año de operaciones, que es cuando se logra el mayor nivel de producción y de utilización del equipo los ingresos son mayores.

Tabla 14

Concepto	Año				
	1	2	3	4	5
Ventas (Unidades)	240	270	300	330	350
Ingresos por ventas	\$663,633.60	\$752,981.40	\$847,677.00	\$948,043.80	\$1,029,959.00
Costos de producción	\$543,634.19	\$617,980.94	\$697,677.39	\$783,043.97	\$854,958.20
Utilidad marginal	\$119,999.41	\$135,000.46	\$149,999.61	\$164,999.83	\$175,000.80
Costos generales	\$74,880.00	\$78,062.40	\$81,380.05	\$84,838.70	\$88,444.35
Utilidad bruta	\$45,119.41	\$56,938.06	\$68,619.56	\$80,161.13	\$86,556.45
Impuestos (40%)	\$18,047.76	\$22,775.22	\$27,447.82	\$32,064.45	\$34,622.58
Utilidad neta	\$27,071.65	\$34,162.84	\$41,171.73	\$48,096.68	\$51,933.87
Depreciación y amortización	\$6,732.25	\$6,732.25	\$6,732.25	\$6,732.25	\$6,732.25
Flujo neto efectivo	\$33,803.90	\$40,895.09	\$47,903.98	\$54,828.93	\$58,666.12

Capítulo 4.- Análisis económico

En esta tabla se presenta el estado de pérdidas y ganancias entre el sexto y décimo año de operaciones de la empresa considerando una producción constante.

Tabla 15

Concepto	Año				
	6	7	8	9	10
Ventas (Unidades)	350	350	350	350	350
Ingresos por ventas	\$1,066,009.00	\$1,103,588.50	\$1,142,767.50	\$1,183,612.50	\$1,226,193.50
Costos de producción	\$891,007.80	\$928,589.51	\$967,768.45	\$1,008,612.48	\$1,051,192.39
Utilidad marginal	\$175,001.20	\$174,998.99	\$174,999.05	\$175,000.02	\$175,001.11
Costos generales	\$92,203.23	\$96,121.87	\$100,207.05	\$104,465.85	\$108,905.65
Utilidad bruta	\$82,797.97	\$78,877.12	\$74,792.00	\$70,534.17	\$66,095.46
Impuestos (40%)	\$33,119.19	\$31,550.85	\$29,916.80	\$28,213.67	\$26,438.18
Utilidad neta	\$49,678.78	\$47,326.27	\$44,875.20	\$42,320.50	\$39,657.28
Depreciación y amortización	\$6,732.25	\$6,732.25	\$6,732.25	\$6,732.25	\$6,732.25
Flujo neto efectivo	\$56,411.03	\$54,058.52	\$51,607.45	\$49,052.75	\$46,389.53

4.5.- Valor presente total

De acuerdo al cálculo del valor presente, el cual resulta positivo, indica que el proyecto es rentable económicamente, considerando una Tasa de Rendimiento Mínima Atractiva del 7% y una inflación de 4.25%. Además, es posible mejorar la rentabilidad, si se disminuyen los costos de producción.

En la siguiente tabla se puede apreciar que la inversión inicial se recupera en poco más de dos años, esto en términos financieros nos indica que es un proyecto muy rentable.

Tabla 16

Año	Valor presente	
	FNE	V. Presente
Inversión inicial	\$74,055.85	\$74,055.85
1	\$33,803.90	\$31,592.43
2	\$40,895.09	\$35,719.35
3	\$47,903.98	\$39,103.92
4	\$54,828.93	\$41,828.72
5	\$58,666.12	\$41,828.13
6	\$56,411.03	\$37,589.05
7	\$54,058.52	\$33,664.93
8	\$51,607.45	\$30,036.01
9	\$49,052.75	\$26,681.45
10	\$46,389.53	\$23,582.08
Ingresos		\$341,626.07
Valor presente total		\$267,570.22

Capítulo 5

Conclusiones

El objetivo planteado en un principio fue el de diseñar una estufa solar dos en uno, es decir, un prototipo que se pudiera transformar para demostrar la viabilidad de dos modelos de estufa solar diferentes.

La primera, como la presentada en este trabajo y la segunda, completando la superficie reflejante dando forma a un plato parabólico, y sin exponer al usuario a los rayos del Sol. Pero por razones económicas y extensión del trabajo se decidió por la primera opción, quedando el proyecto inicial en 60%.

Los resultados obtenidos rebasaron las expectativas que se tenían planteadas en un principio pues las temperaturas alcanzadas con el aceite comestible fueron altas (hasta 270 °C), lo suficiente para poder freír cualquier tipo de comida.

Algo muy destacable que mencionar es que la estufa solar fue expuesta en una feria para ahorro de energía que se llevó a cabo en la ciudad de Chetumal y donde tuvo una excelente aceptación por parte de las amas de casa.

Durante el desarrollo de este trabajo se analizó que la producción en serie de estufas solares para ser comercializadas al público en general es un negocio rentable desde el punto de vista del fabricante. El precio podría parecer elevado, sobre todo, si los potenciales usuarios son familias que viven en lugares apartados y de escasos recursos. Pero si tomamos en cuenta los beneficios tanto económicos, sociales, ecológicos y de salud, esto no tiene comparación.

Una de las mejoras que se le pudieran hacer a este prototipo es aumentando el área de superficie reflejante, además, de hacerla aún más manejable para el usuario.

Cabe destacar que para eficientar el proceso de cocción es necesario utilizar la estufa con las recomendaciones mencionadas anteriormente en este trabajo.

La razón más importante por lo que no se ha generalizado el uso de las estufas solares en los hogares es que la mayoría de la gente desconoce la existencia de esta tecnología. Esto tiene que ver con el hecho de que la industria solar en México no tiene todavía la capacidad económica para, por ejemplo, tener un inventario puesto en exhibición en tiendas donde el público en general las conozca.

Desde mi punto de vista la solución se ubica en el apoyo del Estado, a través de la aplicación de recursos para financiamiento con intereses debajo de los del mercado, e incentivos económicos que hagan de los recursos solares una opción económicamente atractiva a los usuarios.

A su vez, es más que indispensable una evolución de los especialistas solares más allá de las mejoras tecnológicas en equipos y sistemas, sino a formas novedosas de llegar a los posibles usuarios, convencerlos de los claros beneficios de sus productos y servicios, y mantenerlos satisfechos durante el tiempo de vida del equipo.

Corresponde al Estado, a través de la Secretaría de Energía o la del Medio Ambiente, instrumentar un programa que facilite la compra de estos equipos que permiten cuidar recursos no renovables, el medio ambiente y la economía.

Bibliografía

1. Manrique, A. José, "Fundamentos y aplicaciones fototérmicas", Harla S.A. de C. V., México, D.F., 1984.
2. Almanza, R., Muñoz, F., "Ingeniería de la energía solar", El Colegio Nacional, México, D.F., 1994.
- 3.- Energía Solar y Agroenergética, Centro de cultura por correspondencia, España, 2003.
4. Perspectiva ambiental, Fundación Terra, España, 2002.
5. Larson, R., Hostler, R., "Cálculo y geometría analítica", The Pensilvania, EU, 2002.
6. <http://www.bsw-energie.de>, cocina solar "Papillon".
7. <http://www1.solarcooking.org>. El espacio web más completo sobre la cocina solar y sus aplicaciones. Hay links, libros, proyectos, revistas, etc.
8. <http://www.dfg-vk.de/SolareBruecke>. Web de la organización que desarrolla los reflectores Scheffler.
9. <http://www.sener.gob.mx>. Página Web de la Secretaría de Energía.
10. Baca, U. Gabriel, "Evaluación de proyectos", McGraw-Hill, D.F., 1987.