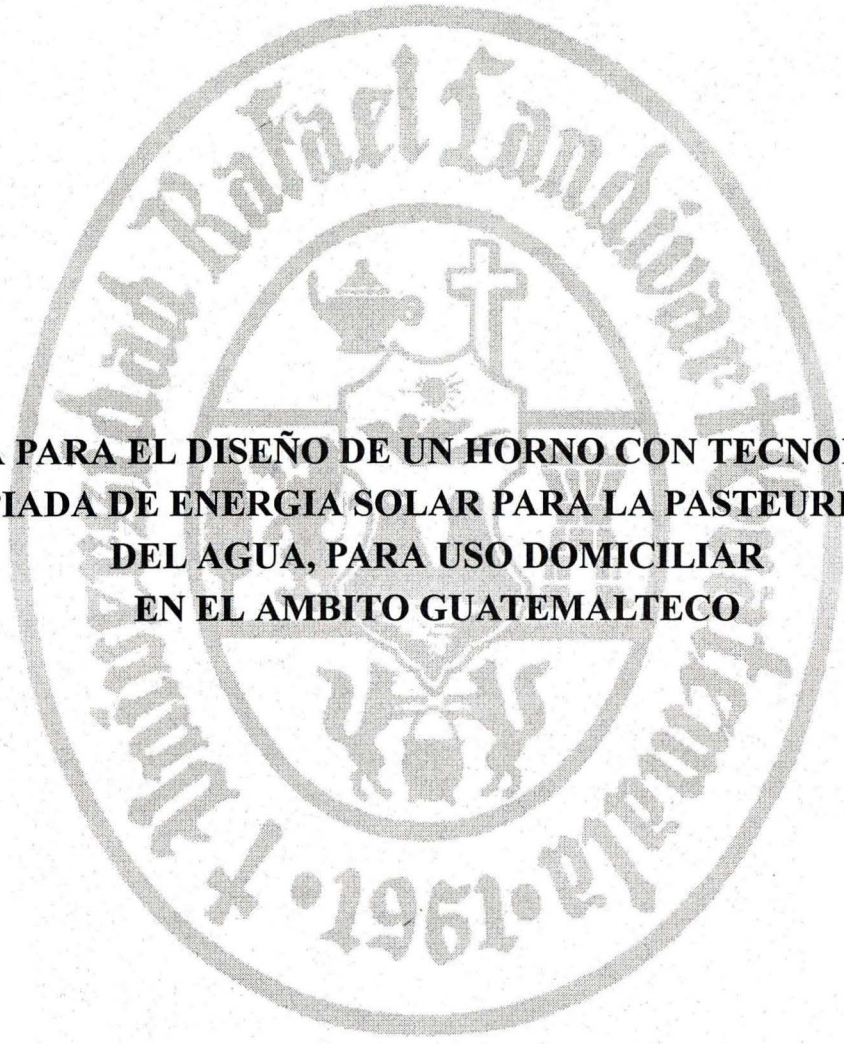


**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL**



**GUIA PARA EL DISEÑO DE UN HORNO CON TECNOLOGIA
APROPIADA DE ENERGIA SOLAR PARA LA PASTEURIZACION
DEL AGUA, PARA USO DOMICILIAR
EN EL AMBITO GUATEMALTECO**

ALFREDO FERNANDEZ VALENZUELA

Guatemala, noviembre de 1,999

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL**

**GUIA PARA EL DISEÑO DE UN HORNO CON TECNOLOGIA
APROPIADA DE ENERGIA SOLAR PARA LA PASTEURIZACION
DEL AGUA, PARA USO DOMICILIAR
EN EL AMBITO GUATEMALTECO**

ALFREDO FERNANDEZ VALENZUELA

Guatemala, noviembre de 1,999

Autoridades de la Universidad Rafael Landívar

Rector:	Lic. Gonzalo de Villa, S.J.
Vicerector:	Licda. Guillermina Herrera Peña
Vicerector Académico:	Dr. Charles Bernie, S.J.
Secretario General:	Lic. Renzo Lautaro Rosal
Director Administrativo:	Arq. Víctor Paniagua
Subdirector Administrativo:	Arq. Maro Humberto Gabriel
Director Financiero:	Ing. Carlos Vela Shippers

Autoridades de la Facultad de Ingeniería

Decano:	Ing. Jorge Lavarreda Grotewold
Vicedecano:	Ing. Federico Salazar Rodríguez
Secretario:	Ing. Carlos Alvarado Galindo
Director del Departamento de Ingeniería Industrial:	Ing. Jorge Edgar Nadalini Lemus
Director del Departamento de Ingeniería Mecánica Industrial:	Ing. Edwin Rodolfo Guerra Tezén
Director del Departamento de Ingeniería Civil Administrativa:	Ing. José Carlos Gil Rodríguez
Director del Departamento de Ingeniería Química Industrial:	Ing. Luis Vicente Chávez de León
Director del Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas:	Ing. Mario Enrique Sosa Castillo
Coordinador de Carreras Técnicas:	Ing. Carlos Eugenio Alvarado G.
Director de Programas de Maestrías en Administración Industrial:	Ing. Carlos Galindo
Representantes de Catedráticos:	Ing. Karim Paz
	Ing. Eduardo Barrios Bathen
Representantes Estudiantiles:	Bachiller Yara Argueta
	Bachiller Mario Montenegro

TRIBUNAL EXAMINADOR

Federico Guillermo Salazar Rodríguez
Flugencio Garavito Quiñonez
Carlos Enrique García Bickford

ASESOR

Luis Daniel Rojas Castillo



Universidad Rafael Landívar
Facultad de Ingeniería

Reg. No. CON-4519-99

NOTIFICACIÓN

A: Señor
Alfredo Fernández Valenzuela
Estudiante

DE: Ingeniero
Carlos Alvarado Galindo
Secretario Facultad de Ingeniería

FECHA: 29 de octubre de 1999

Para su conocimiento y efectos, transcribo a Ud. el punto CUADRAGÉSIMOQUINTO del acta 19-99 correspondiente a la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería de esta Universidad celebrada el 28 de octubre de 1999, el cual literalmente dice:

“CUADRAGÉSIMOQUINTO: Se autorizó la impresión del informe final del trabajo de Tesis del estudiante de Ingeniería Mecánica Industrial *Alfredo Fernández Valenzuela* (47603-93) titulado **“GUÍA PARA DISEÑO DE UN HORNO CON TECNOLOGÍA APROPIADA DE ENERGÍA SOLAR PARA LA PASTEURIZACIÓN DEL AGUA PARA USO DOMICILIAR EN EL ÁMBITO GUATEMALTECO.”**

Atentamente,



c.c. Archivo
Ing. Jorge Lavarreda/DECANO
Expedientes

Dedico este acto

A DIOS:

Gracias por haberme dado la mano cuando más lo necesitaba.

A MIS PADRES:

A mi padre, Dr. Alfredo Fernández Gradis, en especial dedico este acto. GRACIAS POR TODO.

A mi madre, Gladys Valenzuela de Fernández, TE QUIERO MUCHO.

A MIS HERMANOS:

Nery Fernández y Luisa Fernanda Fernández, gracias por su amistad y compañía.

A MIS PROFESORES:

En especial al Ing. Luis Rojas, asesor de tesis.

A MIS AMIGOS:

A mi grupo de mecánicos; Jorge Castellanos, Alejandro Castellanos, Jose Alfonso Fashen, Jorge Chang, Teddy Lemcke, Edgar Moscoso y Jose Antonio Espinoza. A mis amigos de toda la vida, Jorge y Francisco Castellanos, Jose Fernando Cardona, Ing. Maria Izabel Mayorga, Aida Ortiz, Raúl Dávila y Carlos Mendizabal, gracias por su amistad.

A MI FAMILIA:

Gracias por todo, a mis abuelos y a mis tíos, en especial, Ing. Edgar Valenzuela e Irma Valenzuela.

A MIS COMPAÑEROS DE PROMOCION:

Exitos en su vida profesional.

Dedico esta tesis

A Guatemala

A la Universidad Rafael Landívar

A la facultad de Ingeniería

Al gobierno de Guatemala

A las organizaciones no gubernamentales

Al sector público

Al sector privado

INDICE

	Paginas
I. Introducción	1
II. El tema en Guatemala	2
III. Definición de términos importantes	3-5
IV. Antecedentes	6-7
V. Marco teórico	8
A) La energías solar	8
B) Teoría de los hornos solares	9-10
VI. Planteamiento del problema	11
VII. Objetivos	11
A) Objetivo general	11
B) Objetivos específicos	11
VIII. Alcances y Limitaciones	12
IX. Aporte de la Investigación a Guatemala	12
X. Método utilizado para la investigación	13
XI. Beneficios de los hornos solares	14
XII. Otros usos de los hornos solares	15-16
XIII. Análisis de aguas	17-18
XIV. Procedimiento para verificación de potabilidad del agua	19
XV. Base de funcionamiento de los hornos de acumulación	20-21
XVI. Funcionamiento de los hornos solares y sus elementos constitutivos	22
XVII. Cubierta transparente	23
A) Cualidades que deben cumplir	23
B) Materiales utilizables	24
1) Vidrio	24
i) Propiedades ópticas de los vidrios	24-25
ii) Propiedades mecánicas necesarias	25-26
2) Materiales plásticos	26-27
C) Tratamiento especial para la cubierta	28
D) Cubierta de doble vidrio	28-29
XVIII. Absorbedor o colector	30
A) Constitución del absorbedor, forma y materiales	30
1) Revestimiento del absorbedor	30
2) Características que debe cumplir el absorbedor	31
i) Tratamiento de pinturas	31
ii) Transferencia de calor del absorbedor a la olla	31-33

XIX.	Aislamiento	34-35
XX.	Materiales estructurales del horno	36
XXI.	Caja de cartón corrugado	37
XXII.	Antecedentes del cartón corrugado	37
XXIII.	Especificaciones del cartón corrugado	38-39
XXIV.	Recubrimiento de la caja externa	40
XXV.	Resistencia a la humedad (barrera de vapor)	40
XXVI.	Tamaño del horno y capacidad de pasteurización	41
XXVII.	Cálculo del área de la cubierta transparente	42
	A)Fundamentos	42
	B)Balance energético	42-44
XXVIII.	Calor Necesario para Calentar el agua	45
XXIX.	Construcción paso a paso de un horno solar	46
	A. Materiales Necesarios	46-47
	B. Cajas de cartón	48
	C. Pegado del papel de Aluminio	48-51
	D. Soportes del fondo	51-52
	E. Aislamiento	52
	F. Sellado de Huecos abiertos entre las cajas	53
	G. Soportes de la placa absorbedora	53-54
	H. Armado de las cajas	54
	I. Colocación de la placa absorbedora	54
	J. Construcción de la tapa	54-55
	K. Construcción de la ventana y la estructura	55
	L. Soporte para el reflector	56
XXVII.	Orientación del Horno Solar	57
XXVIII.	¿Cómo orientar el horno a lo largo de su utilización?	58-59
XXXI.	Resultados del Prototipo	59-61
XXXII.	Costos Prototipo	62
XXXIII.	Costos por Millar	62
XXXIV.	Conclusiones	63
XXXV.	Recomendaciones	64
XXXVI.	Bibliografía	65

I. Introducción

La utilización de la energía solar se está abriendo camino a nivel nacional, pero tiene su mayor tropiezo en los malos hábitos de consumo energéticos convencionales, por lo que pasarán algunos años hasta que se instale por sí misma de forma definitiva. Sin embargo, podemos afirmar que antes de concluir la primera mitad de la próxima década, si la sociedad es lo suficientemente sensata, y sus dirigentes lo bastante inteligentes, optarán por la utilización de este tipo de energía y será la primera fuente de abastecimiento energético.

En la actualidad, las aplicaciones y posibilidades de utilización práctica de esta forma gratuita de la energía se han multiplicado: La obtención de agua caliente para uso doméstico o industrial, la calefacción de espacios, climatización de piscinas, la electrificación de viviendas alejadas de la red general de distribución eléctrica, o más recientemente, la incorporación de paneles fotovoltaicos incluso a viviendas conectadas a la red, son algunos ejemplos de aplicaciones rentables.

Existen otras aplicaciones de la energía solar que se califican como marginales, entre ellas están aquellas cuyo fin es calentar el agua para disminuir riesgos de enfermedades y mejorar así las posibilidades de los países poco desarrollados, en los que el gas o la electricidad no llega a muchos lugares, en donde se podrá fomentar la conciencia ecológica, de la que carecemos en países como el nuestro.

La práctica de pasteurizar el agua con la energía del sol tiene como objetivo enriquecer la vida de las familias guatemaltecas que carecen de servicios de agua potable. Así disminuirá la incidencia de enfermedades ocasionadas por gérmenes, virus o parásitos y se contribuye a preservar el ecosistema porque se reduce la deforestación. En Guatemala existe un alto porcentaje de población urbana y rural de escasos recursos, que son principalmente quienes tendrán acceso a este beneficio, tanto por su simplificación, como el bajo costo.

La fabricación de una típica caja solar u horno solar; no es nada complicada, se basa en la utilización de principios elementales de la metodología y técnica científica de termodinámica y de diseño.

II. El tema en Guatemala

En Guatemala, desde la época precolombina y colonial, los pobladores de diferentes regiones han utilizado la energía solar para conservación de carnes, tal es el caso de la carne cecina y el pescado seco, que permite el uso de esas proteínas para diferentes épocas del año.

Respecto el uso de la energía solar para otras necesidades, se tiene conocimiento de algunas industrias que la han utilizado, por ejemplo las salinas, secadores de café y secado de frutas. Recientemente existen en Guatemala varias compañías dedicadas a la utilización y diseño de instalaciones de paneles solares para producir energía calorífica y eléctrica, que han sido utilizadas para uso doméstico e industrial, sin embargo podríamos asegurar que no ha tenido el auge y desarrollo deseable, sobre todo tomando en consideración las características sociales, económicas y climatológicas del país.

También existe investigaciones elaboradas por el ICAITI , el CONCYT y tesis de grado de las facultades de arquitectura e ingeniería, que tratan el tema desde el punto de vista de la aplicación de tecnología importada sin la adaptación respectiva, por lo que, en la mayoría de las veces las soluciones no son las adecuadas. En la presente investigación se ha tratado de evitar precisamente lo anterior.

Existe también un proyecto para la utilización de la energía solar denominado CACEP (Central American Solar Project), el cual consiste en el préstamo de cajas solares a las familias de la región del altiplano, a modo que estas se habitúen con el método de esterilización y purificación del agua, entre otras aplicaciones.

III. Definición de términos importantes

Aislante Térmico: Material con baja conductividad térmica.

Albedo: Fracción de la energía reflejada o difundida por la superficie de un cuerpo que recibe energía luminosa.

Angulo cenital: Es el formado por el rayo y la vertical.

Antirreflectante: Tratamiento que se aplica sobre la superficie de los cuerpos en los que se desea reducir las pérdidas por reflexión.

Calor latente: Calor cedido cuando un cuerpo cambia de estado, a temperatura constante.

Cenit: Punto de la esfera celeste situado sobre la vertical del lugar considerado.

Concentrador solar: Colector solar que enfoca o concentra los rayos solares sobre un absorbente de área menor que la superficie total colectora, logrando de esta forma aumentar la intensidad incidente.

Conducción: Ocurre cuando hay una diferencia de temperaturas entre dos partes del material conductor. La conducción se lleva a cabo vía la vibración de los átomos y vía el movimiento de los electrones.

Convección: Cuando una sustancia calentada transfiere calor por medio del aire, cuando la transferencia resulta por diferencias de densidades. Ejemplo: como el aire alrededor del fuego.

Destilador solar: Recipiente en el que se usa la energía solar para purificar las aguas, haciéndolas aptas para su consumo. Consta de un recinto cerrado cubierto por un vidrio en cuya superficie interior se condensa el agua evaporada por el calor del sol, que resbala hasta caer en un depósito.

Desalinizador solar: Es utilizado para obtener agua dulce a partir de agua salobre. Trabaja con el mismo principio que el aparato definido anteriormente.

Heliógrafo: Instrumento que mide la insolación o tiempo en que el sol luce en un día determinado.

Heliotérmico: Proceso en el cual interviene la radiación solar y la energía térmica.

Irradiación: Es la cantidad de energía radiante que llega a una superficie determinada en un tiempo determinado.

Microclima: conjunto de condiciones climáticas que afectan a un área geográfica muy reducida y que difieren apreciablemente de la predominantes en su entorno.

Piranómetro: Instrumento para medir la radiación solar total.

Pirheliómetro: Instrumento para medir la radiación solar directa.

Policarbonato: Hidrocarburo translúcido utilizado como cubierta de los colectores en sustitución del vidrio.

Poliestireno expandido: Material muy ligero utilizado para embalaje y como aislante térmico.

Polietileno: Hidrocarburo, que en láminas muy finas y translúcidas se usa para aprovechar el efecto invernadero, principalmente en agricultura.

Poliuretano: Hidrocarburo usado en la carcasa de los colectores solares y en muchas otras aplicaciones en el campo de la construcción.

Punto de rocío: Temperatura a la que comienza a condensarse el vapor de agua del aire.

Radiación umbral: Intensidad de la radiación solar tal que, para un colector dado, hace que su rendimiento sea nulo, es decir, la energía solar absorbida es exactamente igual a las pérdidas térmicas del colector.

Transferencia de calor por radiación: Transferencia de calor por medio de ondas electromagnéticas. Ejemplo: la radiación solar.

Silicona: Producto químico usado en juntas flexibles y en diversos pegamentos.

Tedlar: Plástico utilizado en las cubiertas de los colectores.

Turbidez: Parámetro que indica la transmitancia atmosférica.

Translúcido: Cuerpo a través del cual pueden verse claramente los objetos y deja pasar la radiación electromagnética.

Transmitancia Atmosférica: Capacidad de transmitir la energía radiante.

Templado: Enfriamiento rápido de un metal que está a una temperatura elevada para alcanzar la dureza propuesta

Punto de Cedencia: Es el punto sobre la curva esfuerzo-deformación donde el material probado experimenta un aumento relativamente grande de deformación sin que se incremente la carga.

IV. Antecedentes

Con la utilización en gran escala de los combustibles fósiles, que generaban energía barata fácilmente transportable y con la implantación de la electricidad a nivel mundial, la humanidad conoció una época de derroche y despreocupación en cuanto a los inconvenientes del consumo de energía constante y creciente, cuyas nefastas consecuencias son bien conocidas sobre todo en lo que a la degradación del medio ambiente se refiere.

En la década de los setenta, se inició, o se manifestó el problema de abastecimiento y el aumento del precio del petróleo, al mismo tiempo aparecieron los movimientos ecológicos. Es cuando comienza a considerarse seriamente la utilización de la energía solar como una opción de los hidrocarburos, al menos parcialmente.

El gran monopolio de los hidrocarburos y los convenios que las compañías transnacionales fijan, incide directamente en los precios de los combustibles convencionales, que a la vez determinan el consumo y la producción de energía. Este fenómeno económico frena el desarrollo de la tecnología destinada a facilitar el aprovechamiento de la energía solar, ya que su utilización ha sido hasta la fecha tímidamente fomentada por los gobiernos e instituciones estatales, política que refleja el grado de dependencia, así como el grado de desarrollo tecnológico de nuestro país.

En lo que concierne a los hornos solares, podemos aseverar que desde épocas remotas los pueblos acostumbraban utilizar la energía del sol para calentar agua, secar frutas o cocer vegetales, conservar carne o pescado y obtener sal.

El primer horno solar con tecnología moderna es atribuida al franco suizo Horace de Saussure, el cual construyó en 1767 una pequeña caja solar, que constaba de dos cajas de madera de pino, una dentro de la otra, aisladas con lana e incorporaba tres cubiertas de vidrio.

El astrónomo británico John Herschel utilizó una caja solar de su invención durante un viaje a Sudáfrica en 1830. También en el siglo pasado, Adams, en la India, experimentó diversos artefactos solares con bastante éxito. Por los años de 1860, Mouchot, en Argelia, utilizó un reflector curvo, que concentraba los rayos solares sobre una pequeña olla.

El primer estadounidense del que se tiene referencias que utilizó un horno solar fue Samuel P Langley, durante la ascensión al monte Whitney en 1881.

Charles Abbot diseñó un espejo concentrador con el que logró alcanzar temperaturas de unos 200 grados centígrados. Con este concentrador se podía calentar aceite, el cual retenía parte del calor varias horas después de ponerse

el sol, lográndose así mantener la temperatura constante y utilizar el horno por las noches.

En 1960 finalizó un amplio estudio, a nivel mundial, patrocinado por las Naciones Unidas para evaluar las posibilidades reales de implantación y desarrollo de los hornos solares en el llamado Tercer Mundo. La conclusión de dicho estudio fue que los hornos solares eran un instrumento idóneo y que solamente era necesario un poco de voluntad y adaptación a las costumbres para poder iniciar su utilización a gran escala.

En 1970, Sherry Cole y Barbara Kerr desarrollaron en Arizona, Estados Unidos, varios modelos de hornos solares que pronto alcanzaron una apreciable difusión, debido a su bajo precio. Simultáneamente, Dan Halacy, pionero en el campo de la energía solar, fabricó su "Horno Solar 30-60", llamado así porque la construcción estaba basada en los ángulos cuyas medidas en grados eran precisamente éstas. En los años 1980 se popularizó el "Solar Chef", de Sam Erwin. Era el más eficiente "horno solar doméstico". Más sencillo es el "Sunspot", de Bud Clevette, quizás, junto con el conocido como "Sun Oven", el que ha alcanzado mayor difusión.

En 1992 la asociación "Solar Box Cookers International" promovió la Primera Conferencia Mundial sobre la Aplicaciones del Horno Solar, un acontecimiento histórico que reunió a investigadores y entusiastas de 18 países.

En el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, (INSIVUMEH), se realizaron las primeras investigaciones de aplicación de energía solar para la cocción de los alimentos por medio del horno solar, ellos le llamaban microondas solar. La tecnología y desarrollo de los hornos solares no ha hecho más que empezar y, con toda probabilidad, en los próximos años aparecerán nuevos diseños, más eficientes, que puedan llamar la atención de un mercado potencial de cientos de millones de familias.

V. Marco teórico

A) La energía solar

El aprovechamiento de la radiación solar mediante su conversión directa en energía térmica requiere tecnología relativamente simple, ya que en un día despejado, en un suelo horizontal, incide en cada metro cuadrado casi un kilovatio-hora de energía radiante. Dicha energía se transforma íntegramente en calor, ya que eleva la temperatura de los cuerpos materiales sometidos a su acción.

La cantidad absoluta de energía recibida en un área y periodo de tiempo determinados es la intensidad con que dicha energía alcanza la superficie, es decir, la mayor o menor concentración del flujo energético, puesto que dicha intensidad es el factor que más influye en la capacidad de elevar la temperatura del cuerpo que recibe la radiación solar.

La inclinación de los rayos del sol sobre la superficie que deseamos calentar determinará la intensidad de energía térmica recibida. Cuanto más paralelos sean los rayos respecto de dicha superficie, la energía total que transporte un haz se repartirá sobre un área más extensa y, por tanto, la intensidad de sus efectos será más débil en cada punto de la misma.

Debido a la inclinación del eje de rotación de la tierra respecto del plano sobre el cual se traslada alrededor del sol, los rayos solares forman un ángulo diferente respecto de la horizontal, según la época del año. En invierno, lo hacen con ángulo más pequeño respecto de la horizontal, lo contrario que en verano, época en la que incluso llegan a alcanzar la vertical en las horas centrales del día y en las zonas cercanas al Ecuador.

Lo anterior es la causa de que, aun con cielo completamente libre de nubes, la energía total que incide a lo largo de un día sea considerablemente mayor en verano que en invierno. Aun así, en un día claro de invierno se recibe suficiente energía para que se satisfagan necesidades básicas de agua potable.

B) Teoría de los hornos solares

Al incidir radiación solar sobre los cuerpos materiales, la energía electromagnética que transporta se transforma en energía térmica, la cual incrementa la temperatura de dichos cuerpos, en forma directamente proporcional al incremento de la intensidad de la radiación.

Ya Newton demostró que si el cuerpo es blanco o de color claro, una gran parte de radiación se refleja en la superficie del mismo y es devuelta hacia otra dirección, por lo que el calentamiento será menor, en tanto que los cuerpos de colores oscuros, y aun más los negros, reflejan poca de la radiación incidente y absorben la mayor parte de la energía. Por eso se calientan con más facilidad. Una superficie negra mate es ideal para favorecer la absorción de la radiación, al producir un calentamiento máximo, razón por la que los absorbentes solares suelen ser negros.

Conforme mas se calienta un cuerpo, también pierde calor, ya que las leyes físicas de transferencia de calor lo rigen, radiación, convección y conducción. Por lo tanto, llega un momento en que la temperatura del cuerpo es tal, que en cada unidad de tiempo pierde tanta energía como la que gana y la temperatura permanece constante.

Si deseamos aumentar esta temperatura, que está en estado constante o de equilibrio, se incrementa la intensidad incidente, lo que se consigue al concentrar continuamente el haz de rayos de sol, minimizando en lo posible, las pérdidas térmicas, esto se logra a su vez, combinando dos diferentes efectos físicos: efecto invernadero y un buen aislamiento.

El efecto invernadero es llamado así por aprovecharse también en los recintos acristalados que albergan las plantas durante el invierno y que, brevemente, consiste en la imposibilidad que tienen las ondas térmicas emitidas por el absorbente caliente de escaparse a través de una cubierta transparente, debido a las bajas frecuencias predominantes en dichas ondas (las ondas solares, por el contrario, tienen una frecuencia relativamente elevada y sí son capaces de atravesar la cubierta transparente y llegar hasta el absorbedor o absorbente.

Para evitar las pérdidas por conducción se aísla convenientemente el absorbedor solar mediante una gruesa capa de material con poca conductividad. Por ejemplo: pequeñas bolas de papel periódico, plumas, lana, hojas secas, cáscaras de frutos secos, materiales de fibra de vidrio.

Al igual que en un colector solar, en un horno solar se utiliza una cubierta transparente y un buen aislamiento térmico, para que la temperatura de equilibrio que se alcanza en el recipiente que contiene los alimentos sea suficiente para permitir su cocción. Si se suprime la cubierta transparente, no

se puede lograr una temperatura tan alta, ya que las pérdidas de calor hacia el ambiente son mayores.

La temperatura que alcanza el aire dentro de un horno solar está cercana a los 200°C. Sin embargo, el vapor que desprende el agua hace bajar la temperatura respecto de la que alcanza el aire seco, pero lo que realmente importa no es la temperatura máxima que se puede alcanzar; el objetivo es mantener una temperatura de equilibrio para que la pasteurización se realice durante el tiempo necesario.

Los hábitos alimenticios de la humanidad están evolucionando hacia formas más saludables, para ajustarse mejor a las posibilidades compatibles con el entorno en que vivimos y también por la creciente preocupación por el respeto a la naturaleza y a todas las formas de vida.

A temperatura de unos 70 grados centígrados, alcanzable con facilidad con el horno solar, muere la totalidad de los microorganismos potencialmente peligrosos, excepto algunos, muy poco frecuentes. Pero normalmente, un buen horno debe ser capaz de hacer hervir el agua, esto es, que alcance una temperatura de 100°C en el recipiente que la contenga.

VI. Planteamiento del problema

Cuáles son los lineamentos y conocimientos básicos que se deben manejar para construir una horno solar mediante la utilización de compuestos originales o que proceden del reciclado de materiales para adaptarlo a nuestro medio?

VII. Objetivos

A. Objetivo General:

- Elaborar un modelo práctico, sencillo y eficiente de un horno solar, para utilización en condiciones locales, al emplear en su estructura elementos fáciles de conseguir en el área guatemalteca, con el fin de pasteurizar el agua.

B. Objetivos Específicos:

- Utilizar la tecnología apropiada para la fabricación de hornos solares.
- Demostrar una forma alterna de utilizar una fuente natural y limpia de energía, como es la energía solar.
- Crear el diseño de un horno solar que satisfaga las necesidades de una típica familia de cinco miembros y que sea aplicable para las condiciones locales, y pueda ser aprovechado por organizaciones y autoridades del país.
- Sugerir un manual para utilizar los hornos solares para aplicaciones practicas, tales como: pasteurización del agua, desinfectado de vendas, equipos médicos y cocción de alimentos.
- Proponer opciones diferentes de materiales para prevenir la pérdida de calor en las paredes, la tapa transparente, estructura general y cómo ganar calor dentro de la caja solar.

VIII. Alcances y Limitaciones

Se expuso de forma sencilla qué es y cómo se puede aprovechar eficazmente la energía solar en hornos. Se presentaron métodos y aplicaciones que tengan mayor posibilidad de desarrollo en un futuro inmediato, fundamentalmente las aplicaciones domésticas.

Se explicó cómo se puede construir un apropiado y práctico horno solar, y cómo utilizarlo de la forma más adecuada.

Se encontró una visión clara y realista de las necesidades energéticas de los guatemaltecos: utilizar la energía solar a pequeña escala. Esto significa captación y utilización de la radiación por individuos, grupos o pequeñas colectividades.

IX. Aporte de la investigación a Guatemala

Este sistema de pasteurizar el agua, aporta cómo operar sin ninguna fuente de energía, salvo la ofrecida por la radiación solar, creando una autonomía de los servicios. Por ello, desde un principio ofrece un ahorro a nuestra producción energética nacional. Sólo se necesita un lugar dónde situar el horno frente al sol, durante un intervalo de unas horas alrededor del mediodía, para poder conseguir la temperatura deseada para la pasteurización del agua o cocción de los alimentos.

Al utilizar la energía solar para cocinar, se contribuye a evitar la deforestación en nuestro país, donde a menudo se talan árboles con el único fin de aprovechar su madera como combustible.

Se minimizarán las enfermedades de los pulmones y ojos debido a los humos y residuos que se producen al cocinar convencionalmente.

Respaldará nuevas alternativas prácticas para aplicaciones de pasteurización de agua por energía solar, lo que logrará que la patología de las enfermedades adquiridas por el agua, se reduzca

X. Método utilizado para la investigación.

Para llegar al diseño apropiado para la pasteurización del agua, aquí en Guatemala, se examinará críticamente las actividades y necesidades diarias de las personas en la capital y en el occidente. Para lograr esto se visitará el centro de experimentación de cocinas solares en Quetzaltenago, (Estación Experimental Choqui), que es un proyecto realizado por el Centro de Investigación y Aplicación de Tecnología Apropiada.

Luego de concluir la investigación de campo se diseñará el horno solar adaptado a la región de Guatemala, mediante el uso de tecnología apropiada y respaldada con los análisis termodinámicos para obtener la mayor eficiencia posible.

La información teórica se obtendrá de internet y de libros solicitados por la misma vía de correo electrónico.

XI. Beneficio de los hornos solares

El uso de los hornos solares para la pasteurización del agua presenta una serie de beneficios sobre los métodos convencionales de pasteurización. La utilización de la energía solar, en cualquiera de sus aplicaciones, es totalmente recomendable, dada la calidad de esta fuente natural y limpia de energía.

Se describen brevemente los beneficios más relevantes:

1. En primer lugar, es 100 % ecológica. Utilizan la más fácil, sencilla y barata de las energías: la solar, y no produce alguna forma de contaminación, ni directa ni indirectamente. No produce humo ni residuos y prácticamente todos sus compuestos pueden proceder del reciclado de materiales (cartón, vidrio, metal, etc.). No requiere fuego y, por tanto, es muy segura, incluso para los niños (que a menudo sufren accidentes o quemaduras en las cocinas convencionales). No hay riesgo de incendios.
2. Gran parte de los países no desarrollados que padecen durante varios meses al año un intenso calor, al emplear los hornos convencionales se ven con el problema de desarrollar una fuente extra de calor que eleva en varios grados la temperatura de la habitación (a veces la única de que dispone la casa) al hacer todavía más penosa la estancia. El horno solar no genera energía calorífica adicional; únicamente aprovecha la que, de todas maneras, incidiría de forma natural.
3. El horno solar es barato y sencillo de construir. Además, el combustible que utiliza es gratuito.
4. Para personas de escasos recursos que deben pasteurizar el agua con fuego, está probado que el humo es la causa de muchas dolencias de pulmón y daños en los ojos de las personas. Este inconveniente no existe en este método de pasteurización.
5. Es frecuente que por no haber servicios o combustible (gas, electricidad, hidrocarburos), el agua es peligrosa para la salud, ya que muchas veces se bebe contaminada

XII. Otros usos de los hornos solares

Un horno solar, o cualquier sencillo dispositivo capaz de mantener una temperatura unas decenas de grados superior a la del ambiente, puede ser útil para diversas aplicaciones.

- Pasteurización del agua

El agua calentada a una temperatura de 65 grados centígrados se pasteuriza, es decir, todos los organismos potencialmente peligrosos mueren, excepto algunos pocos, muy poco frecuente. Una vez pasteurizada, el agua se conserva por tiempo indefinido si se cierra herméticamente el recipiente que lo contiene.

Como margen de seguridad, la temperatura debe alcanzar 70 ó 75 grados centígrados y mantenerse durante algún tiempo. En total, para pasteurizar unos 4 litros de agua son necesarias unas 4 horas, en el supuesto que el día sea soleado.

- Desinfectado de vendas y equipos médicos

Pocas esporas pueden sobrevivir al proceso de pasteurizado y si el agua caliente se utiliza, por ejemplo, para lavar heridas, las consecuencias serán muy graves.

Para matar todos los organismos hay que esterilizar el agua. A falta de autoclaves y de equipos apropiados, una gran caja solar, con doble vidrio y aislamiento perfecto, puede alcanzar, en condiciones idóneas, los 100 grados centígrados incluso necesarios para esterilizar instrumental médico, vendas y vestimentas.

- Preparación de conservas

Las frutas o jugos pueden conservarse durante largo tiempo de calentamiento en una bote con agua hasta que comiencen a desprenderse burbujas. Apretar fuertemente la tapa y dejar enfriar.

- Cocción de alimentos

A la temperatura de 70 grados centígrados, mueren casi todos los organismos que suelen contener a veces los alimentos. Los hornos solares pueden llegar sin dificultad a los 100 grados centígrados que a veces es necesario para cocinar por completo ciertos tipos de alimentos.

- Es útil en pequeñas industrias o talleres artesanales para calentar o secar cualquier tipo de producto.
- Como medio curioso y atractivo de mantener calientes las mercancías comestibles de vendedores ambulantes.

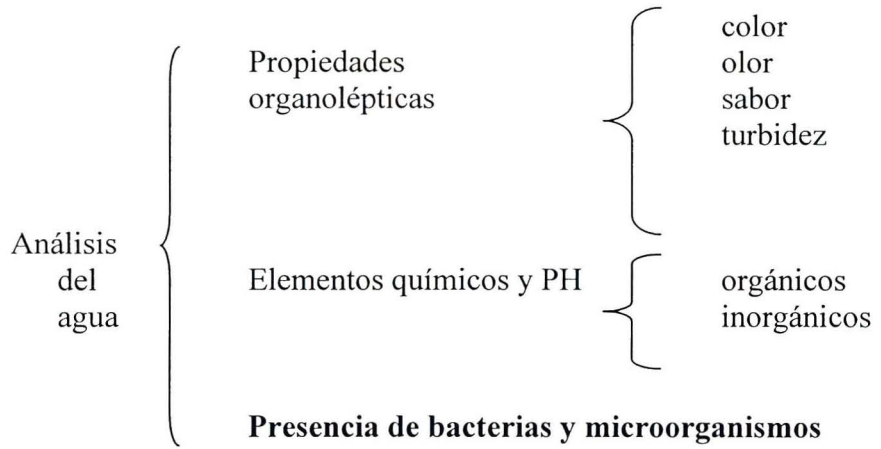
XIII. Análisis de aguas

Es interesante conocer las características del agua de procedencia distinta a la de la red general de suministro. Muchas fuentes de agua suelen estar contaminadas en mayor o menor grado. La tierra no siempre filtra todo lo que sobre ella se vierte y, en ocasiones, el agua puede arrastrar restos de fertilizantes y pesticidas. Igualmente, puede haber filtraciones de aguas negras o fecales. Algunas de estas sustancias pueden ser detectadas a simple vista, en cambio otras necesitan de análisis químico especial. El análisis básico del agua tiene como objetivo determinar si es apta para el consumo humano. Los elementos importantes para el estudio del agua:

- *Propiedades organolépticas*
Son las que se pueden descubrir con los propios sentidos sin necesidad de estudio científico. Las apreciaciones más importantes se refieren al color, olor y sabor, así como a la turbidez, que suele indicar la presencia de componentes biológicos o de determinados contaminantes muy peligrosos.
- *Presencia de elementos químicos inorgánicos y determinación del PH*
Se trata de averiguar la presencia y cantidad de elementos tan peligrosos como el cloro y compuestos como cal, junto a otro gran número de elementos menos conocidos y que suelen afectar la salud humana. Especial atención merece la concentración de metales pesados, cuyo elemento más devastador, el mercurio, puede producir la muerte en poco tiempo, incluso en pequeñas concentraciones. También es necesario, dependiendo de la fuente de extracción del agua, hacer un estudio de hidrocarburos existentes, por si la fuente está contaminada por líquidos combustibles o sus mezclas.
- *Presencia de materia orgánica*
Se trata de buscar presencia de cuerpos extraños en la corriente subterránea, tales como trozos de madera, plásticos o latas, etc. Los restos de rocas y piedras, en general, provienen de hundimientos, provocados por paso del agua subterránea.
Otras materias orgánicas son de tamaño microscópico, por lo que hay que utilizar medios adecuados para la detección.

- *Presencia de bacterias y organismos*

Básicamente, se trata de descubrir si hay microvida en el agua que estamos estudiando, lo cual sucede, excepto si existe alto contenido de cloro. También cuando hervimos el agua desaparece gran parte de los microorganismos, aunque otros no se eliminan, o no se logra a temperatura de ebullición normal, que no conviene olvidar cuando el agua se destina al consumo humano, ya que algunos microorganismos son dañinos para nuestra salud.



XIV. Procedimiento para verificación de la potabilidad del agua

Evaluación microbiológica.

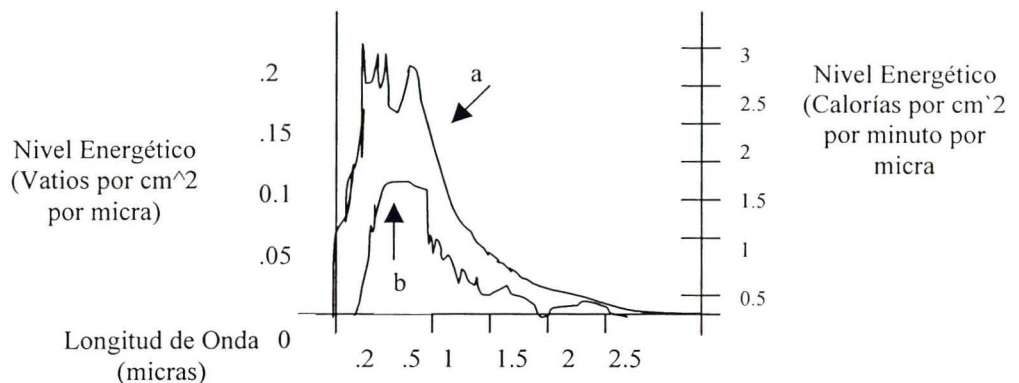
1. Se tomó una cantidad medida de agua de procedencia conocida.
2. Preparación de una suspensión de bacterias de concentración conocida (en este caso Escherichia coli como un parámetro de contaminación).
3. Se mezcló la cantidad de la suspensión de bacterias a un volumen conocido de agua (100 ml).
4. Se Preparó diluciones cuantitativas de la mezcla (agua-bacterias), las cuales se colocarán en cajas de Petri y en tubos de vidrio de tapón de rosca, mezclandoles un agar selectivo. (Cajas de Petri: para recuento total aeróbico. Tubos de tapón de rosca: para la técnica de Número Más Probable.)
5. Se incubaran las cajas de Petri a 37 grados centígrados, por 48 horas, para recuento total aeróbico. Los tubos se incubarán a 37 grados centígrados, por 24 horas, para Número Más Probable.
6. Análisis Microbiológico de Recuento Total Aeróbico, (UFC/ml) en placa a 37 grados centígrados y cuantificación de Recuento de coliformes Totales y E.coli (Número Más Probable).

Norma COGUANOR para AGUA POTABLE

La Norma COGUANOR NGO 20 001, para AGUA POTABLE, establece un máximo permisible de 500 UFC/ml., en Recuento Total en Placa. Cuando se examina porciones de 100 centímetros cúbicos, no más de 10 por ciento deben mostrar la presencia del Grupo Coliforme. Para Coliformes Fecales y E.coli, negativas y ausencia de bacterias patógenas.

XV. Base de funcionamiento de los hornos de acumulación

El efecto invernadero es el responsable de la acumulación de energía térmica en el interior del horno solar. La radiación solar está formada por ondas electromagnéticas. Las infrarrojas, de mayor longitud de onda, representan aproximadamente del 46 % al 55 % de la radiación, del 42 % al 45 % es radiación visible y de 3 % al 9 % es radiación ultravioleta. En la figura se observa la distribución de la radiación solar en sus distintas longitudes de onda y sus contribuciones energéticas en el valor global de la radiación solar.



En el límite de la atmósfera, la radiación ultravioleta es absorbida por la capa de ozono. En su paso por ella, la radiación infrarroja es más absorbible que la radiación visible. En la gráfica anterior, la curva "a" marca la radiación que llega en la parte exterior de la atmósfera y la curva "b" señala la radiación incidente en la superficie terrestre. Estas gráficas simplifican los conceptos de la absorción atmosférica, donde las moléculas de CO₂ y de H₂O son los principales agentes responsables de la absorción infrarroja selectiva.

Parte de la energía de la radiación solar, cuando atraviesa el cristal o cuerpo transparente, del horno de acumulación e incide en sus superficies interiores, se transforma en energía térmica. Se llama cuerpo transparente al que deja pasar a su través la radiación electromagnética. Algunos cuerpos son transparentes sólo para ciertas zonas del espectro electromagnético, pero resultan opacos para otras.

El vidrio, por ejemplo, es transparente entre 0.3 μm y 3 μm , y resulta opaco para una mayor longitud de onda.

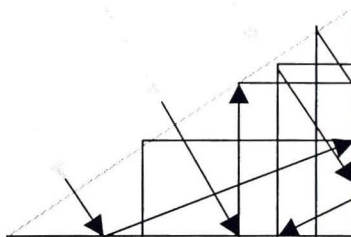
La mayor parte del espectro de la radiación solar está comprendido entre $0.3 \mu\text{m}$ y $2.4 \mu\text{m}$, por lo que la luz solar atraviesa el vidrio sin mayor problema (una pequeña parte es reflejada en su superficie y otra absorbida en su interior en mayor o menor grado, según el espesor).

El absorbedor, de material metálico, en donde se efectúa la conversión de energía electromagnética en térmica, está situado bajo la cubierta transparente.

Después de atravesar el vidrio, la radiación llega a la superficie del absorbedor, el cual se calienta y emite a su vez radiación con una longitud de onda más o menos comprendida entre 4.5 y $7.2 \mu\text{m}$, para la cual el vidrio es opaco.

Así, la radiación emitida por el absorbedor y devuelta hacia el vidrio de la cubierta, es reflejada en un pequeño porcentaje por la superficie interior de dicho vidrio, pero el resto es absorbida, no consiguiendo escapar al exterior. Ahora es el propio vidrio quien se calienta y comienza también a emitir radiación. Aproximadamente la mitad de esta radiación se emite hacia el exterior, perdiéndose, pero la otra mitad vuelve hacia el interior y contribuye así a calentar aún más la superficie del absorbedor. Este último fenómeno se conoce como efecto invernadero.

En la figura se halla una interpretación gráfica de este fenómeno físico. El proceso es el mismo que se ocasiona en los invernaderos.



Efecto Invernadero en el Horno
De Acumulación

XVI. Funcionamiento de los hornos solares y sus elementos constitutivos.

Un horno expuesto a la radiación del sol elevará progresivamente la temperatura del absorbedor y también las pérdidas por conducción, convección y radiación. Llega un momento cuando las pérdidas son iguales a la energía, que el absorbedor recibe del sol y su temperatura se estabiliza: se dice que alcanzó la temperatura de equilibrio estática. Esta temperatura depende de las condiciones exteriores: entre más frío sea el ambiente, más baja es. Por esto, lo que importa es la diferencia de las temperaturas, exterior y de los alrededores del horno.

Sea $\rightarrow \Delta t^0$

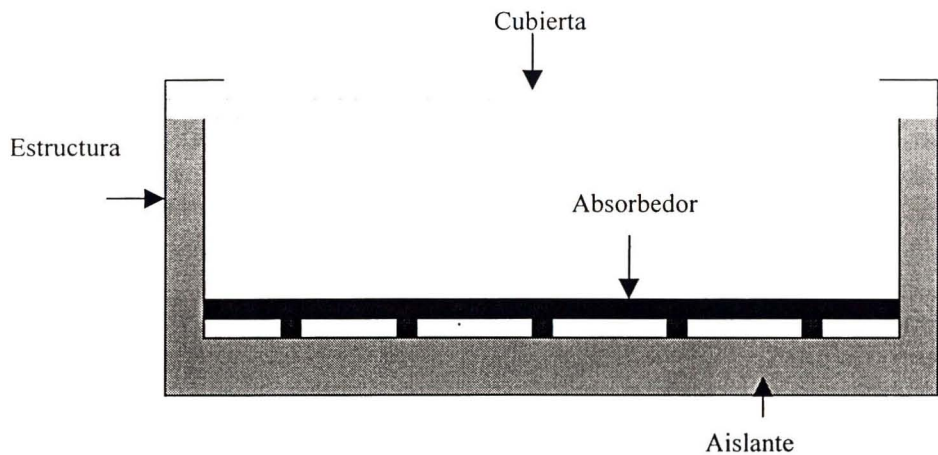
La diferencia entre la temperatura t y la temperatura ambiente.

$$\Delta t^0 = t^0 - t_a^0$$

Esta temperatura, de equilibrio, es la máxima que un horno puede alcanzar. Por lo tanto es la máxima teórica de utilización, siendo siempre la temperatura real inferior a ésta.

Es necesario conocer y evaluar las calidades y características de los elementos constituyentes del horno solar, para elegir los materiales más adecuados a las condiciones climáticas y recursos del país.

El horno solar está constituido por cuatro elementos principales que son: absorbedor, la estructura, el aislamiento y la cubierta transparente.



XVII. Cubierta transparente

A) Cualidades que debe cumplir:

Debe provocar el efecto invernadero y reducir al mismo tiempo las pérdidas por convección, así mejorará el rendimiento del horno.

El efecto invernadero define las cualidades físicas que debe tener la cubierta:

- Poseer un alto coeficiente de transmisión de la radiación solar en la banda de 0.3 a 3 μm . Este coeficiente de transmisión debe conservarse con el paso de los años, a pesar de los efectos del sol y la intemperie, lo que no siempre se cumple en la mayoría de los materiales plásticos.
- Tener un coeficiente de transmisión para ondas largas (emitidas por el absorbedor) superior a 3 μm , lo más bajo posible.
- Tener un coeficiente de conductividad térmica bajo, que dificulte el paso de calor desde la superficie interior de la cubierta hacia el exterior, para minimizar las pérdidas y mejorar así el rendimiento del colector. Esta característica obliga a su vez que tenga un coeficiente de dilatación pequeño, ya que la cara interior de la cubierta se mantendrá siempre más caliente que la exterior y, por tanto, se dilatará más y puede haber riesgo de rotura y deformación.
- La cara interior debe tener un alto coeficiente de reflexión para la longitud de onda larga de la radiación emitida por el absorbedor, a fin de que ésta rebote en dicha cara y retorne de nuevo al absorbedor.
- No debe mantener la suciedad adherida a la superficie exterior, para que la lluvia, polvo, o partículas en el ambiente resbalen fácilmente, asegurando un lavado eficaz, sin hacer necesario una limpieza manual.

Se toma en cuenta también todo lo que pueda depositarse en la superficie interna de la cubierta debido a los vapores desprendidos por el agua y materiales utilizados en la construcción de las diversas partes del interior del colector, principalmente la pintura utilizada para el absorbedor, los plásticos y otros materiales de la carcasa.

Se puede reducir las pérdidas por convección, al utilizar una doble cubierta, o al aumentar el espesor del material transparente, pero éstas incrementan las pérdidas por absorción de la radiación solar incidente.

B) Materiales utilizables:

Los principales materiales, fáciles de conseguir en el área guatemalteca, utilizables para las cubiertas son el vidrio y el plástico transparente.

1) Vidrio

Las diferentes calidades de vidrio se distinguen por su composición química, sus características mecánicas y ópticas. No se puede elegir cualquier tipo de vidrio, sin ciertas precauciones que puede tener problemas de mantenimiento.

i) **Propiedades ópticas de los vidrios**

Se elegirá un vidrio recocido o templado, ya que sus propiedades ópticas no se deterioran en dichos procesos, sin embargo, sus propiedades mecánicas mejoran notablemente.

La transmisión energética es función del espesor, del ángulo de incidencia y del tipo de vidrio.

El coeficiente de transmitancia o transmisividad energética del vidrio (Γ), es el cociente entre la energía que lo atraviesa y la que incide sobre él.

$$\Gamma = \frac{\text{Energía que atraviesa el vidrio}}{\text{Energía incidente sobre el vidrio}}$$

La transmitancia de un vidrio siempre será menor que uno.

Para determinada calidad de vidrio se obtuvieron los resultados siguientes.

Tabla 1. Coeficiente de transmisión energética (%) en función del ángulo de incidencia del haz de rayos con la normal a la superficie del vidrio.

Espesor (mm)	Transmitancia					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
3	86	86	86	84	77	54
4	85	84.5	84	82	75	54
5	83	83	82.5	80	73.5	51
6	81.5	81	81	78.5	72	50

La transmisión energética depende también de la estructura de la superficie. Por ejemplo, para un vidrio de 5 mm de espesor, podemos observar las diferencias según el aspecto de la superficie

Tabla 2.

Aspecto de la superficie	Transmitancia (%) en función del ángulo de incidencia con la normal				
	0°	15°	30°	45°	60°
Vidrio Claro	85	84.5	84	82	75
Amarillado	84	84	83	81	72

Los coeficientes de transmisión energética solar cambian poco para un determinado vidrio, sea cual sea el tratamiento de su superficie, que puede ser pulida, esmerilada, etc., pero ciertos tratamientos retienen la suciedad, que se elimina difícilmente, lo que provoca pérdidas importantes que no son aconsejables para su utilización.

La composición química del vidrio tiene influencia sobre el factor de transmisión energética solar. Dicha influencia puede necesitar una determinada composición química, en este caso especial se necesita un porcentaje bajo en sales de hierro.

Es fácil identificar la presencia de esas sales por el color verdoso que se ve cuando éste se coloca de lado. El vidrio llamado blanco será pues el más indicado debido a la buena transmisividad.

ii) Propiedades mecánicas necesarias para el vidrio

Las cubiertas de los hornos deben resistir a la presión del viento, peso de objetos, choque de granizo y lluvia. Otro aspecto que se toma en cuenta es el efecto de las contracciones debido a las diferencias de temperaturas de los distintos puntos de la cubierta. Una causa muy común de rotura es la dilatación de la cubierta expuesta al sol, que provoca tensiones con los bordes más fríos que no pueden dilatarse tanto ni tan libremente, provocando un efecto de contracción y tracción.

La resistencia de un vidrio sometido a todas esas contracciones térmicas depende del estado de sus bordes. Estos deberán ser lo más perfectos posibles y no presentar defectos que provoquen el principio de rotura.

En general, una diferencia térmica a partir de los 25°C entre dos puntos de la superficie de un vidrio puede presentar peligro de rotura.

Para evitar esta clase de riesgo existen dos soluciones: mejorar la resistencia de los bordes (haciendo un corte lo más perfecto posible), o bien aumentar la resistencia del volumen mediante un tratamiento apropiado.

Para incrementar la resistencia del volumen de vidrio se somete a la operación de templado térmico, después de confeccionar los bordes. La técnica de templado consiste en el calentamiento hasta la temperatura del punto de cedencia, seguido de un brusco enfriamiento mediante soplado de aire. Este tratamiento crea en el interior del vidrio un sistema de contracciones que refuerzan la resistencia del producto final.

Ventajas del templado:

1. Mayor resistencia a la rotura.
Un vidrio templado de 6 mm resiste los choques de una bola de acero de 500 gramos que cae libremente desde una altura de 2 metros, mientras que el mismo vidrio no templado se rompe para una altura de 30 a 40 cm, con la misma bola de acero.
2. Mayor resistencia a la flexión.
Los productos templados son alrededor de 4 ó 5 veces más resistentes a la flexión que los productos recocidos.
3. Una gran resistencia a las contracciones de origen térmico, por lo que la diferencia de temperaturas entre los distintos puntos del vidrio puede ser mayor que en el vidrio normal. Los vidrios templados pueden llegar a resistir diferencias de 30°C y un valor medio de 62°C, medido sobre la superficie del vidrio para una temperatura del absorbedor de 150°C, la cual puede ser alcanzable.
4. Fragmentación de seguridad.
En caso de un accidente, el vidrio templado se fragmenta en trozos de pequeñas dimensiones, evitando así cortes peligrosos para la seguridad personal.

2) Materiales plásticos.

Ciertos materiales plásticos tienen propiedades ópticas parecidas a las del vidrio, es decir, son transparentes a las radiaciones de onda inferiores a 3 μm aproximadamente y opacos a las radiaciones de onda larga superiores, pudiendo servir para la construcción de cubiertas transparentes de los hornos, a fin de obtener el efecto invernadero.

Los plásticos destinados a cubiertas se presentan bajo la forma de películas flexibles de algunas décimas de milímetros de espesor, o bajo formas de placas rígidas de algunos milímetros.

La química de los plásticos evoluciona rápidamente, apareciendo nuevos materiales todos los años. Los métodos de

fabricación y las propiedades de los plásticos ya comercializados también evolucionan. Como consecuencia, las informaciones específicas de las propiedades de los plásticos pueden quedar obsoletas en poco tiempo.

El conjunto de plásticos presenta algunas características generales:

- Poca densidad, facilitando el mantenimiento en caso de sustitución.
- Poca fragilidad, disminuyendo los riesgos durante el transporte, colocación y operaciones de mantenimiento.
- Mala conductividad térmica, lo que permite una temperatura de la cara externa menor, con la consiguiente reducción de las pérdidas por radiación y convección.
- Coeficiente de dilatación lineal importante. Esta característica provoca el abombamiento de las placas gruesas, pues las caras posteriores estarán más calientes que las anteriores.
- Mala resistencia a las temperaturas elevadas. Puede ser muy problemático su comportamiento en los sobrecalentamientos ocasionales.
- Dureza poco elevada, ya se rayaría con facilidad, con lo que el coeficiente de transmisión energética solar se reduce.
- Numerosos plásticos sufren inestabilidad química y deterioros físicos bajo la acción de los agentes exteriores, en especial la radiación solar ultravioleta, y de las variaciones de temperatura a las que están sometidas las cubiertas por la radiación del absorbedor, en función de la temperatura de éste. Estos deterioros pueden traducirse en una reducción importante del coeficiente de transmisión energética solar, una fisuración de la cubierta, y hasta una destrucción del material.

Se han efectuado progresos considerables en la resistencia de los plásticos a estas acciones destructivas, la incorporación de inhibidores, construcción de cubiertas de varias capas, o incluyendo debajo de la cubierta una película que tiene los rayos ultravioleta.

En los ensayos de envejecimiento acelerado a los cuales han sido sometidos, estas cubiertas parecen ser utilizadas sin problemas durante una docena de años, pero en cada caso particular se deberá exigir la garantía precisa.

C) Tratamiento especial para la cubierta

Dos tipos de tratamiento pueden ser aplicados a la cubierta transparente:

- Tratamiento anti-reflectante sobre la superficie exterior para disminuir las pérdidas por reflexión de los rayos solares incidentes.
- Tratamiento sobre superficie interior, para que refleje las radiaciones de gran longitud de onda, y no impida el paso de la radiación de corta longitud.

Este tratamiento tiene por objetivo reducir las pérdidas del absorbedor, al impedir que las radiaciones emitidas por éste atraviesen la cubierta y vayan al exterior. No debe tener efecto sobre el coeficiente de transmisión energética solar de la cubierta.

Hasta la fecha estos tratamientos tienen un inconveniente: tienen precio económico alto.

D) Cubierta de doble vidrio

Los vidrios dobles tienen la ventaja de acrecentar el efecto invernadero, reducir las pérdidas por convección y aumentar la temperatura que puede alcanzar el agua.

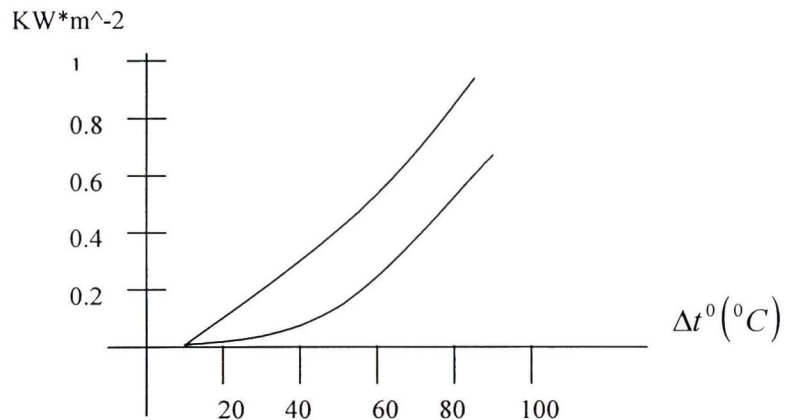


Figura 4.1 Pérdidas térmicas comparativas de un colector con cubierta simple de vidrio (curva superior) y dos cubiertas. En el eje de abscisas se representa la diferencia de temperatura entre el absorbedor y el ambiente, y en el de ordenadas las pérdidas energéticas en kW/m². (valores calculados con un viento de 20 km/h, CENSOLAR, España).

Las pérdidas ópticas de las cubiertas dobles (reflexión y absorción) son mayores y, por tanto, la energía recibida por el absorbedor es menor. El hecho de la disminución de la energía recibida por el absorbedor, así como la disminución de las pérdidas, hace que el rendimiento del horno varíe según las condiciones de utilización: diferencia entre la temperatura ambiente y la del absorbedor, velocidad del viento, ángulo de incidencia solar.

En general se puede decir que la doble cubierta es mejor cuanto más baja es la temperatura exterior y más fuerte es el viento. En nuestras latitudes, este tipo de cubiertas sólo tendría sentido para aplicaciones de alta montaña, en las que la intensidad de radiación es mayor.

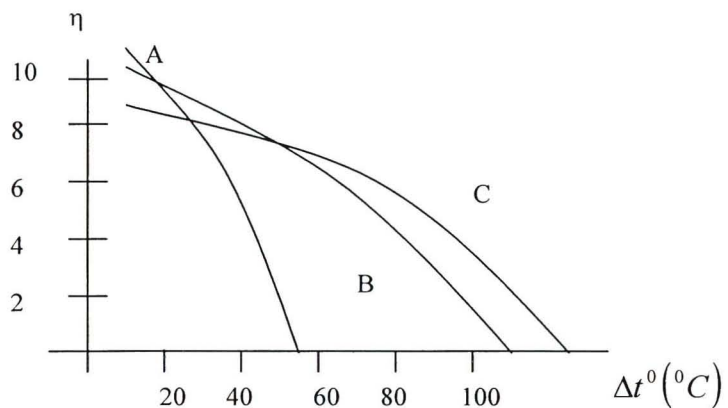


Figura 4.2 Comparación del rendimiento (expresado en una escala de 0 a 10) de un mismo colector en tres casos. A sin cubierta, B con cubierta. C con dos cubiertas. Condiciones: $I = 1000 \text{ W}\cdot\text{m}^2$, Temperatura ambiente de 25 grados centígrados, velocidad del viento = $20 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$. , (CENSOLAR, España).

El sistema a utilizar es el de cubierta simple de vidrio por tres razones simples:

1. Reducir el costo, ya que el elemento más caro del horno es la cubierta de vidrio. Para la aplicación de pasteurización del agua no afecta las pérdidas por convección que se producen en mayor grado en las cubiertas simples.
2. Evitar problemas que podría causar la elevada temperatura que debe soportar la cubierta inferior. Además, las diferentes temperaturas de las dos capas da lugar a dilataciones diferentes, que ocasionan con frecuencia la rotura del conjunto.
3. Las propiedades de los plásticos van evolucionando rápidamente hacia la similitud de los vidrios, siendo estos mucho más costosos. El vidrio templado es fácil de conseguir en el ámbito Guatemalteco.

XVIII. Absorbedor o colector

El absorbedor tiene por misión recibir la radiación solar, transformarla en calor y transmitirla al agua en el recipiente.

A) Constitución del absorbedor. Forma y materiales

Placa metálica de forma definida por la base de la caja interior del horno, que es el absorbedor propiamente dicho, sobre la cual está colocado el recipiente u olla metálica.

1. Revestimiento del absorbedor

Es conveniente que la cara del absorbedor expuesta al sol esté cubierta de un revestimiento especialmente elegido para absorber bien los rayos solares. Se utiliza dos procedimientos: pinturas y superficies selectivas.

Conviene mencionar los conceptos de emisividad E (ó coeficiente de emisión) y absorptividad α (ó coeficiente de absorción), pues son los parámetros que tipifican a las pinturas y recubrimientos de los absorbedores.

- Emisividad de una superficie es la relación entre la intensidad de la radiación emitida por dicha superficie y la intensidad que emitiría si fuera la superficie de un cuerpo negro, es decir,
$$E = I / I_{\text{negro}}$$
- Absorptividad de una superficie es la relación entre la intensidad de la radiación absorbida por la misma y la que absorbería si se tratara de la superficie de un cuerpo negro, es decir,
$$\alpha = I / I_{\text{negro}}$$

Las pinturas de color negro u oscuro absorben muy bien la radiación solar (coeficiente de absorción del orden de 0.9), pero tienen coeficiente de emisión sensiblemente igual al coeficiente de absorción. Dicho de otra manera, las pérdidas por emisión de radiación son bastantes elevadas y crecen rápidamente con la temperatura, por lo que estos revestimientos no son indicados para usar temperaturas muy elevadas.

Para desaparecer estos inconvenientes, se han buscado otros revestimientos, que tengan también un buen coeficiente de absorción de la radiación solar, pero con un coeficiente de emisión más bajo.

No existen materiales simples que tengan esta propiedad. Las diferencias entre los dos coeficientes se obtienen por suposición de varias capas (metal y compuestos metálicos) o tratamientos especiales de las superficies.

2. Características que debe cumplir el absorbedor

Teniendo en cuenta la importancia del absorbedor en eficiencia del horno, es necesario prestar una gran atención a sus características y a la calidad de los materiales que lo componen.

i) Tratamiento de pinturas

Las pinturas son más económicas que las superficies selectivas. Tienen, en general, un mejor comportamiento térmico global a la radiación solar para temperaturas cercanas a las del ambiente (20 grados centígrados). El peor inconveniente es que la mayor parte de las pinturas se dañan por la acción continua de la radiación ultravioleta, y a causa de las variaciones de temperatura entre el día y la noche. Muchas forman ampollas, se rompen y pierden una gran parte de sus cualidades térmicas, por lo que es necesario renovarlas periódicamente.

El resultado de un tratamiento con pintura depende mucho de la preparación de la superficie antes de la aplicación. Sólo debe usarse pinturas cuyo buen comportamiento sea garantizado por el fabricante en condiciones de los rayos solares. Como la pintura es un elemento aislante, y si se necesita una reposición, se debe limpiar bien la superficie y aplicar una capa lo más fina posible.

Las superficies selectivas tienen en general mejor comportamiento. Es conveniente usar tratamientos selectivos que hayan sido ensayados y homologados por organismos competentes.

El principal inconveniente de los tratamientos selectivos es su precio, que es muy elevado.

Pinturas selectivas para recubrimientos:

	Absortancia	Emitancia
Oxido de Cobre	0.81	0.17
Negro Níquel	0.89	0.12
Cromo Negro	0.95	0.12
Cristales de sulfuro de Pb	0.89	0.20

La pintura selectiva adecuada es la de cromo negro, ya que tiene un alto índice de absortancia y su emitancia es pequeña.

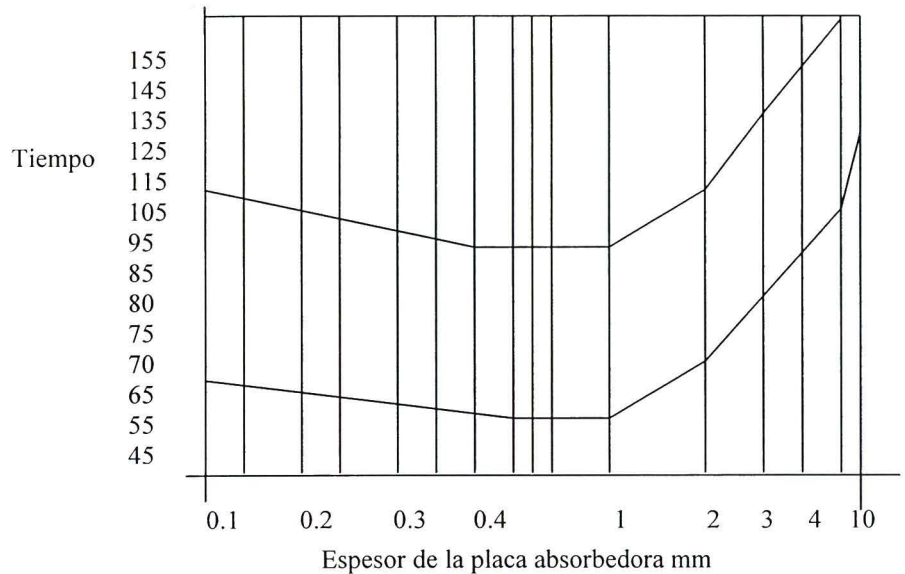
ii) Transferencia de calor del absorbedor a la olla.

El mecanismo de transferencia de calor es por conducción térmica entre la placa absorbidora y la olla. Por lo tanto, un contacto térmico es absolutamente necesario y esencial.

El tiempo de cocción es mínimo para placas de 0.5 a 1mm de delgadez. Entonces, para asegurar un buen contacto térmico, la base del

absorbedor y la olla debe ser suave y rígida. Con una capa delgada de glicerina entre la olla y la placa produce un contacto termal mejorado. La placa de es 1 mm de espesor, y lo aconsejable es con una capa de pintura opaca negra.

Se han registrado tiempos para alcanzar una temperatura de diseño, según el espesor de la placa absorbadora. (Thulasi Das et al., 1994)



Efecto del espesor de la placa absorbadora y el tiempo de pasteurización.

(Thulasi Das et al., 1994)

Con una placa de espesor de 2 a 4 mm funciona adecuadamente el horno solar.

Para una temperatura de 100 °C , los materiales más comunes como el cobre, aluminio y el acero dulce tiene una conductividad o transmitancia de:

Cobre (385 W/m *°C)

Aluminio (206 W/m *°C)

Acero Dulce (57 W/m *°C)

El material más adecuado es el cobre, pues aumentaría la eficacia de la placa absorbadora.

Materiales para la olla como acero inoxidable (emisividad = 0.5) o aluminio (emisividad = 0.4) no necesitan pintarse de negro,

pero son de costo elevado comparados con el acero dulce. Las ollas negras esmaltadas son las indicadas.

Se registraron parámetros de la emisividad de la olla y contacto entre ésta y la placa absorbadora. (Thulasi Das et al., 1994)

Muestras	Resistencia de contacto	Emisividad de la olla	Espesor del aislamiento(cm)	Tiempo registrado(min)
1	Muy bien	1	10	60
2	Muy bien	1	7.5	62
2	Muy bien	1	5	66
4	Muy bien	0.5	7.5	66
5	Regular	0.2	7.5	72
6	Mala	0.1	7.5	84

Efecto del contacto, emisividad y el aislamiento en el tiempo de cocido.
(Thulasi Das et al., 1994)

Nota: Términos expresados en la tabla, Muy bien: Contacto total de la superficie de la placa con la superficie debajo de la olla. Regular: Contacto irregular entre las dos superficies. Mala: Area de contacto muy pequeña.

XIX. Aislamiento

El absorbedor o placa receptora está protegido en su parte posterior contra las pérdidas por un aislamiento que debe ser muy eficaz. Características de algunos aislantes más usados.

Material	Conductividad térmica a 50 grados centígrados(W/m*k)	Temperatura máxima de utilización	Observaciones
Lana de vidrio	0.050	150	Sensibilidad a la humedad
Lana de roca	0.050	150	Sensibilidad a la humedad
Espuma de vidrio	0.057	150	
Corcho	0.052	110	
Poliestireno	0.042	85	Moldeado
Poliuretano	0.027	110	Espuma

Se engloban de manera general bajo el término de pérdidas posteriores, todas las pérdidas que no tienen lugar a través de la cara delantera, es decir aquellas que se producen también por los lados y que incluyen las pérdidas por puentes térmicos. Bajo esta denominación general, las pérdidas posteriores toman una importancia mucho mayor.

Los aislantes para un colector deben poseer algunas características especiales:

- Comportamiento con la temperatura.
La temperatura en verano puede llegar a 150 grados centígrados. Es necesario que el aislamiento posterior resista estas temperaturas sin deteriorarse.
- Desprendimiento de vapores
Bajo la acción del calor el agua desprende vapores, con la posibilidad de condensarse sobre la cubierta transparente. Los puntos a examinar son:
 1. Saber si el aislante desprende valor al descomponerse por el calor.
 2. Conocer si los vapores desprendidos pueden depositarse sobre la cubierta transparente.

- Envejecimiento
Conviene utilizar un aislamiento posterior que no se degrade por el envejecimiento, por la temperatura y la humedad de utilización.
- Humedad
Los aislantes pueden humedecerse por la condensación que se produce en el interior del horno, por rotura de la cubierta, o penetración de lluvia entre la cubierta y la carcasa.

XX. Materiales estructurales del horno solar

Los materiales estructurales para los hornos usados en los países industrializados, pueden ser apropiados a la tecnología existente. Estos dependen de los deseos de los usuarios. Esta no es la situación más común de los países en vía de desarrollo. Los materiales usados para el horno solar deben estar disponibles en el ámbito guatemalteco, de bajo costo, fáciles de reparar y de reemplazar. Si los materiales se producen localmente es mejor. Los posibles materiales pueden ser: cartón corrugado, madera, plywood, bambú, metal, cemento, ladrillos, vidrio, fiberglass, plástico, papel, tierra, adobe, corcho etc. La lista puede continuar indefinidamente. Al final el costo, la disponibilidad, los deseos de los usuarios, la humedad y el clima determina el material aplicable para cada utilización.

Para el clima y disponibilidad en el ámbito guatemalteco, el material más común que se puede conseguir del reciclado o a un bajo costo es el cartón corrugado. Sin embargo, si el horno está bien diseñado y bien construido apropiadamente, es posible que dure 10 años usándolo diariamente.

Las cocinas solares en Namibia, Africa, construidas en 1992, están en buen estado y operan en excelentes condiciones.

XXI. Caja de cartón corrugado

Está diseñada para soportar y proteger las condiciones climáticas. Su superficie plana y sus dimensiones uniformes proveen excelente estabilidad y buenas condiciones de estiba, las cuales están diseñadas para soportar compresión, para que se tenga que estibar o apilar a grandes alturas. Como también se manejó, la caja es el contenedor más versátil, en bandas transportadoras, deslizadas o estibadas en tarimas. La caja de fibra de papel (cartón corrugado) puede ser codificada en instrucciones con entarimado automático. La caja debe su gran resistencia a la combinación de dos formas arquitectónicas básicas: el arco y la columna. Las corrugaciones o flautas amortiguan y aíslan los contenidos.

XXII. Antecedentes del cartón corrugado

Hace aproximadamente 100 años, se desarrolló el proceso Kraft para extraer pulpa de la madera. Esta fibra superior en resistencia a la anteriores, fue empleada rápidamente por todos los corrugadores. Mejoras en el proceso de fabricación de papel, permitieron ampliar el rango de gramos y calibres disponibles. También se desarrollaron aditivos químicos para mejorar la resistencia a la humedad y la estiba.

El desarrollo en adhesivos, tintas, cera y otros recubrimientos, ha contribuido a una increíble gama de productos de cartón corrugado. Por otro lado, los sistemas para manejar este cartón también se han desarrollado, entre ellos; sistemas de montacargas, racks, paletizadores automáticos, Los que han permitido un desarrollo aun mayor de esta industria.

El uso de contenedores corrugados se ha expandido dramáticamente para embarques de tomate, naranja, lechuga, limón, manzana, pera y otras frutas y vegetales; al mismo tiempo los productores de cajas de cartón corrugado han cubierto las mismas con parafina y plástico para lograr rigidez bajo condiciones húmedas, y empacar carne fresca que necesita congelación. La industria de corrugado ha alcanzado su punto de madurez, pero aún sigue cambiando y respondiendo a nuevas necesidades.

El acceso a materias primas recicladas de mejor costo relativo, con menor peso de papel y mayor resistencia, permiten nuevas aplicaciones. Muchos de los cambios en la industria han nacido por iniciativa individual, por ejemplo: cartón corrugado para cocinas solares. Actualmente, la industria de corrugado representa el mayor segmento industrial de empaque. El futuro ofrece oportunidades ilimitadas de cambio y crecimiento

XXIII. Especificaciones del cartón corrugado

El cartón corrugado es utilizado para empaque como material de protección y aislante, que generalmente está en contacto directo con el producto. El mismo se forma al pegar una hoja delgada de papel a una hoja de material corrugado.

La materia prima utilizada es:

PAPEL KRAFT:

Producto fibroso, fabricado en forma de banda continua, en las que las fibras y los fragmentos fibrosos, así como otros aditivos de naturaleza química y estructura mineral - incorporados eventualmente durante el proceso de fabricación de papel. Presenta una apariencia similar a la de un tejido.

Las propiedades de un determinado papel dependen de la naturaleza de las fibras que lo constituyen, de sus propiedades intrínsecas (longitud, anchura, espesor de pared, otros), de esta forma se clasifica en liner y papel medium. Y a través de un proceso químico se convierte en papel blanco o white top, mottled withe, bleach.

PAPEL LINER:

El cual es fibra virgen. Con un contenido máximo del 20% de fibra reciclada (papel reciclado).

Colocados como caras exteriores del cartón, se clasifican de acuerdo a su peso base o gramos, que cumple con ciertas características físicas y mecánicas.

Propiedades: peso base, % de humedad, absorción de agua, calibre, variación de calibre, resistencia a la explosión.

PAPEL MEDIUM.

Constituido de 80 a 100% de fibra reciclada.

Papeles reciclados, utilizados para formar la flauta, cumplen con características físicas y mecánicas distintas a la de los liners. Se clasifica por peso base o gramos.

Propiedades: peso base, % de humedad, absorción de agua, calibre.

LA CONFORMACIÓN DEL CARTÓN CORRUGADO SE LLEVA A CABO DE

Un liner externo superior
Un papel medium corrugado
Un liner externo inferior.

Los cuales se unen a través de las propiedades del almidón (tipo de adhesivo)

EL ALMIDÓN.

Es una sustancia blanca granulosa que se encuentra en muchas plantas, especialmente en las semillas de maíz, arroz y trigo.

Químicamente es un carbohidrato sintetizado en la planta por combinación o polimerización de dextrosa.

Posee la propiedad de unirse al papel, con la función de adhesión. Las propiedades más importantes son: su viscosidad durante la cocción su temperatura de gelatinización. Para la fabricación del adhesivo a base de almidón se utiliza soda cáustica, bórax y, cuando es necesario, impermeabilizantes.

ADHESIVOS

El proceso de pegado de las cajas requiere de un adhesivo de rápido secado, para mantener velocidades de máquina alta, que trabajen a temperatura ambiente.

Para el pegado de la ceja interna o externa, se utiliza adhesivos PVA (poly vinyl acetato) elaborado con dispersiones de resina sintéticas, ligeramente plastificados.

El campo de aplicación de los adhesivos son básicamente: cierre de las cajas, sobre los distintos tipos de papeles y papeles con aplicación de agropack.

XXIV. RECUBRIMIENTO DE LA CAJA EXTERNA

CARACTERISTICAS:

- Encolable en frío y caliente (Hot-melt)
- Resistencia a grasas
- Resistencia al agua
- Imprimible

Usos típicos:

Carne

Pastelería

Productos lácteos

Nombre comercial: MICHEM COAT 40HHS

Este recubrimiento es emulsion de base acuosa diseñada para ser aplicada en la máquina corrugadora de papel. La cantidad exacta a ser aplicada deber ser determinada entre el fabricante de la caja y el consumidor final, que en este caso se presentaron las condiciones a las que opera el horno solar y se aplicó el mayor margen permisible de recubrimiento a la caja exterior. Además, este recubrimiento es reciclable y cumple con las normas alemanas de reciclabilidad.

XXV. Resistencia a la humedad (barrera de vapor)

Para el cartón corrugado es importante hacer una buena barrera de vapor dentro de horno. El agua que se evapora humedece los materiales de la caja solar si es que no se previene que entre a la estructura. El recubrimiento MICHEM COAT 40 HAF protege al cartón de la humedad y del vapor. Sin embargo puede utilizarse un papel plástico forrado con una película de aluminio para sellar la cara interna del horno solar.

XXVI. Tamaño del horno y capacidad de pasteurización

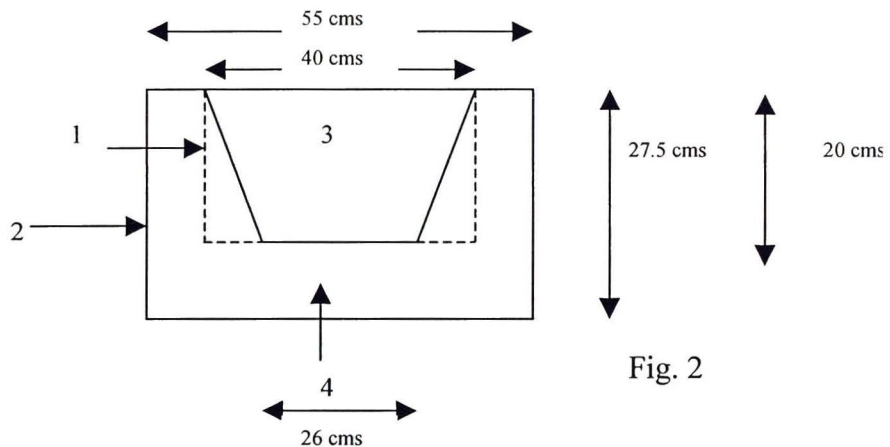
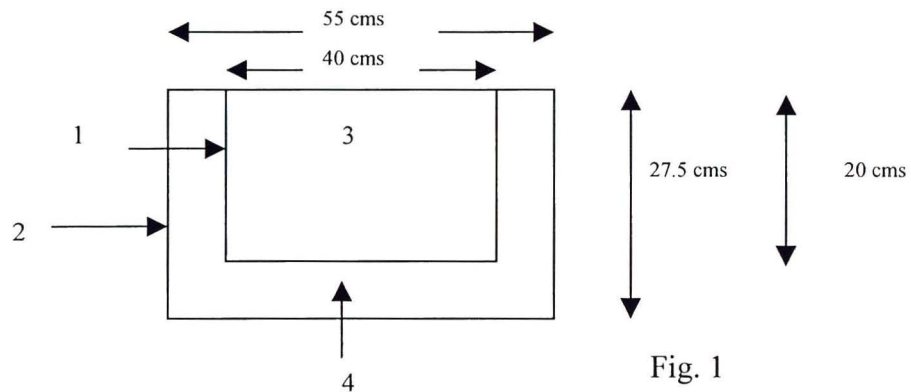
El tamaño de la cámara es un factor muy importante que indica o establece el tiempo para alcanzar las condiciones de diseño en la cámara del horno.

Malhotra et al. experimentó el efecto de reducir el volumen (Malhorta et al. 1983). Ellos cambiaron la forma de la caja interior, de una forma cuadrada a una con ángulo en las paredes laterales logrando mejoras considerables.

El cálculo del factor para la optimización del volumen de la cámara es:

$F_o = \text{Volumen de la cámara interna} / \text{Area de la cubierta}$

Según las pruebas experimentales de Malhorta et al. (1983), el efecto es optimo para un factor de 13, que indica la inclinación de las paredes con su vertical.



XXVII. Calculo del área de la cubierta transparente

Si consideramos al horno solar como una máquina que transforma la energía de radiación en energía térmica, es evidente la importancia del conocimiento de esta máquina, ya que nos demuestra la relación entre la energía obtenida y la recibida.

A) *Fundamentos*

La placa colectora es una máquina térmica sometida a condiciones de trabajo muy diversa, ya que los parámetros de los que dependen varían mucho, ni siquiera de forma sistemática ni predecible con exactitud, pues la radiación solar oscila a lo largo del día, y de un día a otro, en función de la nubosidad y la época del año.

Para efectuar un estudio simple del comportamiento del colector, es necesario suponer unas condiciones estacionarias, esto es, valores medios constantes para todos los parámetros que intervienen.

Consideraremos un colector inmóvil, recibiendo la radiación solar uniformemente repartida y de forma constante hacia el recipiente que está en contacto con el absorbedor.

B) *Balance Energético*

El balance energético de un colector plano es :

$$Q_1 = Q + Q_2 \quad \text{Formula (1)}$$

Donde:

Q_1 es la energía incidente total (directa + difusa + reflejada) en la unidad de tiempo.

Q es la energía útil, es decir, la recogida por el líquido en el recipiente.

Q_2 es la energía perdida por disipación de calor al exterior.

La energía útil del colector en la unidad de tiempo es la diferencia entre la energía total absorbida y la perdida . $Q = Q_1 - Q_2$

Dada la definición de intensidad de energía radiante, Q_1 será simplemente el producto de la intensidad por la superficie. No toda la energía Q_1 incidente será absorbida en el absorbedor y en el agua. En primer lugar, en caso de existir cubierta, hay que contar con la transmitancia de la misma, que dejará pasar solamente una parte de dicha energía (τ_{SI}). Por otro lado, el coeficiente de absorción o absorción α de la placa absorbidora nunca llega a ser igual a la unidad, de forma que la fracción de energía realmente absorbida es $\tau\alpha_{SI}$.

En cuanto a la energía Q2 que se pierde, su cálculo en detalle es muy complejo ya que, como sabemos, entra en juego simultáneamente y en diferente proporción las pérdidas por radiación, convección y conducción. Sin embargo, y con objeto de poder utilizar una formulación simple, se ha convenido en englobar esto en lo denominado coeficiente global de pérdidas U, el cual se mide experimentalmente y es un dato según el fabricante de los materiales. Suponiendo que las pérdidas, U , por unidad de superficie y proporcionales a las diferencias de temperatura:

$$Q_2 = SU (T_c - T_a) \quad \text{Formula (2)}$$

Por lo tanto, la ecuación quedará.

$$Q = Fr(\tau\alpha SI - SU(T_c - T_a)) \quad \text{Formula (3)}$$

Donde,

S = Superficie del colector (m²)

I = Radiación incidente (660 W/m² = 0.66j / m², INSIVUMEH).

τ = Transmitancia de la cubierta transparente (0.85 , transmitancia del vidrio de 4mm)

α = Absortancia de la placa absorbadora. (cobre, con pintura cromo negro, 0.64)

Fr = Factor de eficacia 0.58 (suposición)

U = Coeficiente global de pérdidas (0.815 W/m²*°C, Edward G. Pita, Acond. Aire.).

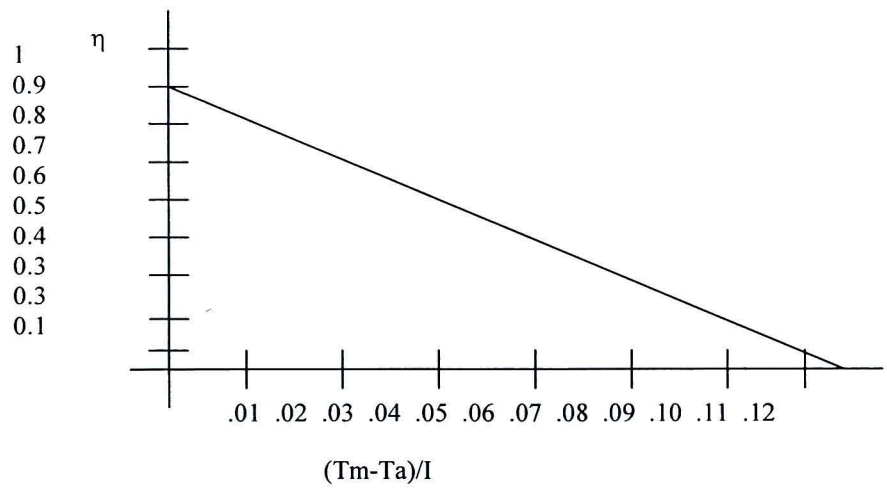
Tc = Temperatura media de la placa absorbadora (120°C, asumida).

Ta = Temperatura ambiente (25°C, INSIVUMEH).

Los resultados obtenidos en los ensayos se ofrecen como índice de la eficacia del horno, η , definida por la relación entre la energía captada y la recibida en un instante dado.

$$\eta = Q/SI \quad \text{Formula (4)}$$

La siguiente figura muestra que entre menor sea la diferencia entre la temperatura interna media y la externa, la eficacia va a ser mucho mejor.



XXVIII. Calor necesario para calentar el agua

Con las variables de temperaturas disponibles se facilita el cálculo:

$$Q = mc(T_f - T_i)$$

$$T_f = \text{Temperatura Asumida (} 150 \text{ }^\circ\text{C} = 423.15 \text{ }^\circ\text{K)}$$

$$T_i = \text{Temperatura inicial del agua (} 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298.15 \text{ }^\circ\text{K)}$$

$$m = \text{Kg de agua (0.01 Kg/hr)}$$

$$c = \text{calor específico del agua (} 4.177 \text{ Kj/Kg } \cdot \text{ K, a 1 atm, } 25^\circ\text{C)}$$

$$Q = (0.010 \text{ kg/hr})(4.177 \text{ Kj/Kg } \cdot \text{ }^\circ\text{K) (423.15 - 298.15) }^\circ\text{K}$$

$$Q = 5.23 \text{ Kj/hr} = 5230 \text{ J/hr (aprox)}$$

Por lo tanto; se despeja en la fórmula S (área de la cubierta)

S, es la variable que determina el tamaño del horno solar para poder calentar un galón de agua a $70 \text{ }^\circ\text{C}$, en condiciones normales.

$$Q = 5230 \text{ J/hr}$$

$$Q = Fr(\tau\alpha SI - SU(T_c - T_a))$$

$$S = Q / Fr(\tau\alpha I - U(T_c - T_a))$$

$$S = (5230 \text{ J/hr}) / (1000 \text{ W})(4.5 \text{ hr}) /$$

$$0.58[(0.64)(0.85)(660 \text{ W/m}^2) - (0.815 \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})(100 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C})]$$

$$S = 23.6 \text{ W} / 0.58 [(359 \text{ W/m}^2) - (62 \text{ W/m}^2)]$$

$$S = 23.6 \text{ W} / 168.2 \text{ W/m}^2$$

$$S = 0.15 \text{ m}^2 \text{ (aprox)}$$

$$S = 1500 \text{ cm}^2$$

Asumiendo que la radiación no es constante y que varía por razones como la reflectancia, nubosidad, agua, polvo, etc., se creará un área de cubierta transparente de 3000 cm^2 . Por lo tanto, en este momento es posible encontrar las dimensiones necesarias del horno solar, para su utilización satisfactoria.

XXIX. Construcción paso a paso de un horno solar

A continuación se explica con detalle cómo construir el horno solar que satisfaga todas las características de análisis y diseño determinados. Esta cocina se hace con cartón, vidrio, hoja o papel de aluminio y pegamento adecuado, aunque también se describen variantes que utilizan otros materiales.

A) MATERIALES NECESARIOS

- Vidrio común de ventana 5mm, llamado blanco, de 60 cm de largo por 72 cm de ancho.
- Cinco metros cuadrados de cartón resistente del tipo ondulado, cartón corrugado. Resistencia mínima del cartón es de 275 psi. Puede aprovecharse el cartón al desplegar cajas grandes, siempre que se encuentren en perfecto estado. En el ámbito guatemalteco existen varios productores de cartón corrugado, a los que se les puede solicitar las dimensiones y especificaciones de las cajas.

Dimensiones de las cajas:

Descripción	Especificaciones	mullen	Largo	Ancho	Alto	Área
Caja pequeña	Regular	275 psi	56 cm	46 cm	20 cm	1.40
Caja grande	Regular Agropak	275 psi	66 cm	56 cm	25 cm	2.05
Lámina	Regular Agropak	275 psi	1 mt	1 mt		1 .00

Nota: Las cajas deben tener faldillas o solapas para cerrar la caja.

La lámina regular de Agropak es para hacer cuatro rectángulos de cartón de tamaño inferior al de las caras laterales de la caja exterior, para colocarlos como elemento de aislamiento entre ambas cajas

- Una buena cuchilla para cortar el cartón, y una regleta de metal o de madera que sirva de guía a la cuchilla.
- Ocho soportes de madera, con altura de 4 cm para separar el fondo de la caja interior del de la caja exterior, con el fin de incrementar el aislamiento. Pueden aprovecharse pedacitos de cartón para formar seis cubos de unos 4 centímetros por lado.

- Dos reglas de madera de 2.5 x 5 cm para soporte de la caja exterior. Dos reglas de 72 cm de largo por 3cm de ancho y 3cm de alto. Una regla de 62 cm de largo por 3cm de ancho y 3 cm de alto para la estructura de soporte del vidrio.
- Un rollo de papel de aluminio, extra fuerte, para evitar que se rompa con facilidad. Se necesitarán 11 metros cuadrados.
- Adhesivo de silicón, con aplicador adecuado, para fijar la cubierta de vidrio.
- Un litro de pegamento para las esquinas de la tapa y para pegar el papel aluminio. El pegamento debe ser fácilmente diluible en agua y mezclarse en partes iguales con ésta, ya que así la hoja de aluminio se pegará mejor sobre el cartón, incluso mejor que al usar pegamento concentrado.
- Recipientes para cocinar de tamaño adecuado para que quepan holgadamente dentro de la caja interior, sin tocar las paredes de la misma o la cubierta de vidrio. Lo ideal es que los recipientes sean negros o de color oscuro y tengan tapadera, también oscura.
- Una placa de metal (cobre) de 28 x 34 cm de 1 mm de espesor. Es necesario que se pinte de color negro mate, que resista perfectamente las altas temperaturas sin degradarse o emitir humos. Verificar que la pintura sea a base de cromo.
- Un palo de madera o una varilla de metal de unos 70 cm de longitud para sostener el reflector.
- Un poco de cuerda fina pero resistente, o alambre fino, para atar el reflector.
- Un corcho de botella para hacer las bases de la placa de cobre.
- Aislante tapa goteras.

B) CAJAS DE CARTÓN

Conseguir dos cajas de cartón como las descritas, ya lista para plegarse, deberán tener las dimensiones indicadas. Dichas cajas de cartón pueden encontrarse en almacenes, fabricas o tiendas que suministren material de embalaje.

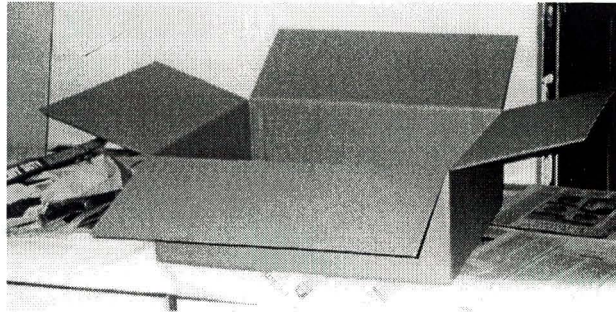


Figura 1: Caja interna del horno solar, de tipo regular. Dimensiones: 56 x 46 cm.

Entre la caja interior y la exterior debe haber un espacio de 4 cm por cada uno de los cuatro lados. Si las alturas de las cajas no se ajustan a las medidas requeridas, pueden doblarse (sin cortar) los lados o las solapas de las cajas para que la altura de la caja interior sea de 20 cm y la de la caja exterior, sea de 25 cm. En cada caso, se asegura que las ollas o recipientes quepan completamente

En la caja interior, incluso con tapa, sin que toquen la cubierta de vidrio.

C) PEGADO DEL PAPEL DE ALUMINIO

El papel de aluminio debe adherirse:

- En el interior y en el exterior de los lados de la caja pequeña.
- En el interior de la caja grande y la tapa.
- En las caras de los cartones aislantes, caso de usarse éstos.
- A las solapas o cierres de la caja pequeña.
- Base de la caja pequeña.

La cola debe diluirse al añadir agua en la misma cantidad, extendiéndola bien hasta que forme una fina capa sobre el papel de aluminio, pegándose éste sobre el cartón como si se tratara de papel para empapelar paredes. No importa si se forman arrugas o queden burbujas de aire atrapado entre el aluminio y el cartón.

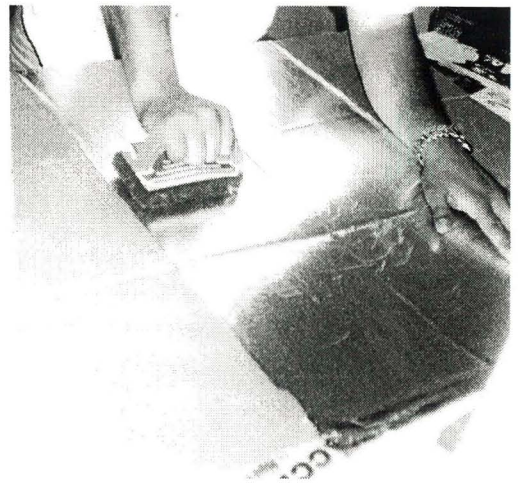
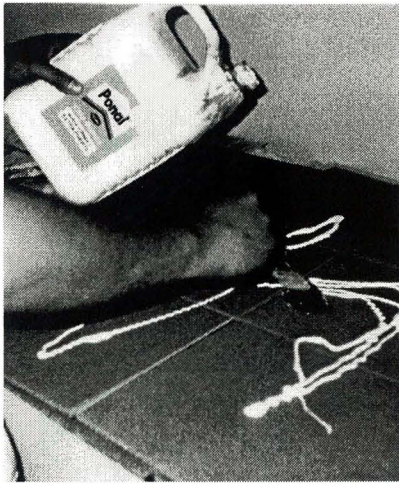


Figura. 2. Aplicación del pegamento y pegado de la hoja de aluminio.

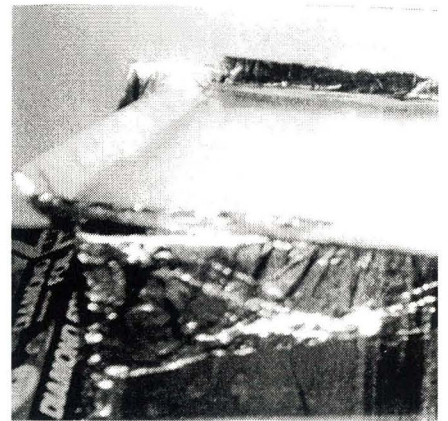
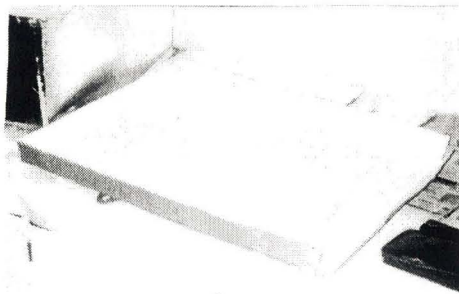


Figura.3: Base de la caja pequeña. Cortar un pedazo de cartón de 49 x 59 cm y hacerle dobleces en todos los lados de 3 cm de alto y forrarlo de papel aluminio.

Para tapar la cubierta que queda entre las cajas, se utilizará las faldillas o solapas de la caja exterior.

La caja exterior tiene solapas de 28 x 66 cm, plegarlas de la forma que cubren el hueco, penetrando dentro de la caja pequeña y formando el ángulo de las paredes laterales antes descrito. Para doblar las solapas, la caja interna debe estar forrada de aluminio y tener su fondo bien fijo.

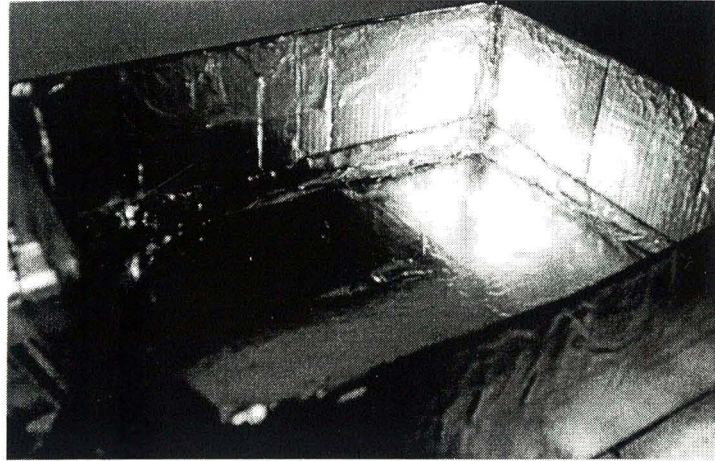


Figura 4: Colocar la base de la caja interna. Debe entrar forzada a modo que presione las paredes. Luego pegar el sellador en las esquinas y uniones.

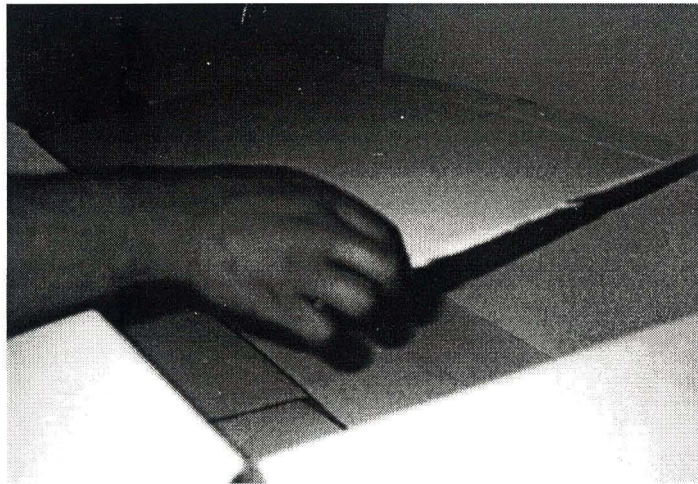


Figura 5: Colocar un pedazo de cartón con dimensiones de 30 x 25 cm en la base de la caja exterior, para soporte y mejora de la resistencia de la estructura.

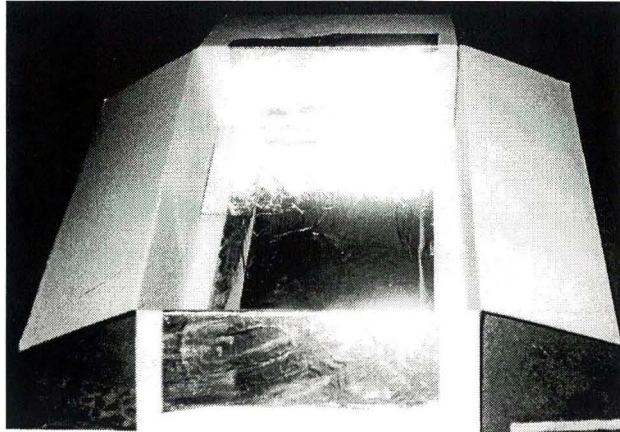


Figura 6: Pegar el papel aluminio en la parte interna de la caja con agropak.

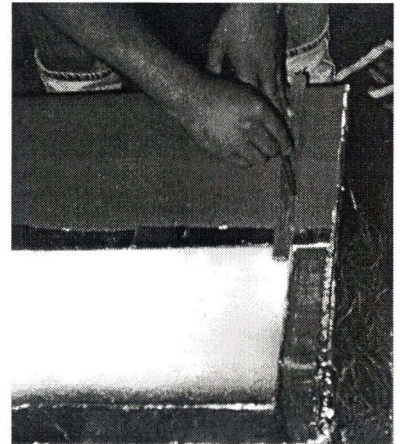
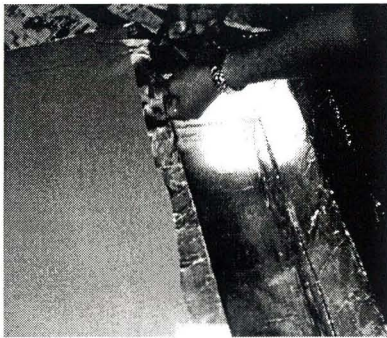


Figura 7: Cortar 4 cm de ancho en cada faldilla o solapa de la caja externa. Dejar un cuadrado de 4cm x 4 cm en las esquinas para que selle el hueco entre las cajas.

D) SOPORTES DEL FONDO

Pegar trozos de madera de 3 cm de alto por 4 cm por lado, uniformemente distribuidos en el fondo de la caja externa. Servirá para separar el fondo de ambas cajas, evitando las pérdidas hacia el suelo. Luego sujetar éstas con clavos de 3 pulgadas hasta las bases de la caja externa. La base de la caja grande consiste en dos trozos de madera colocados paralelamente de dimensiones: 5 x 3 x 45 cm.

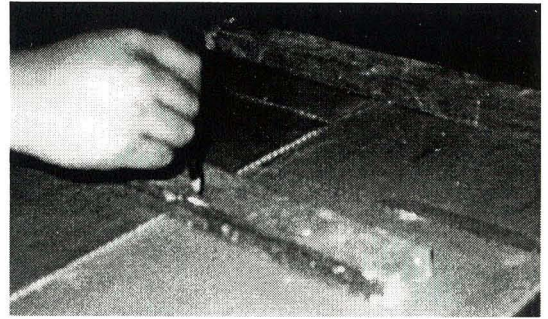


Figura 8: Pegar los trozos y cubos de madera para unirlos por medio de enclavamiento.

5) AISLAMIENTO

Para mejorar el aislamiento se debe cortar piezas rectangulares de cartón que quepan exactamente entre los cuatro huecos formados por las caras laterales de ambas cajas. Dichas piezas, recubiertas con papel aluminio, se colocan inclinadas entre las paredes de las cajas.

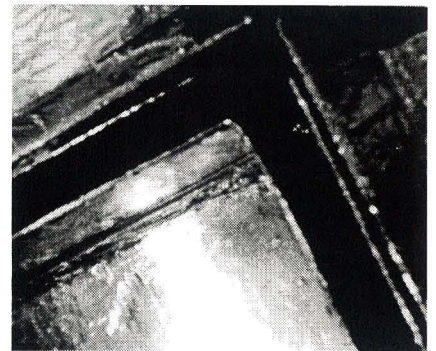
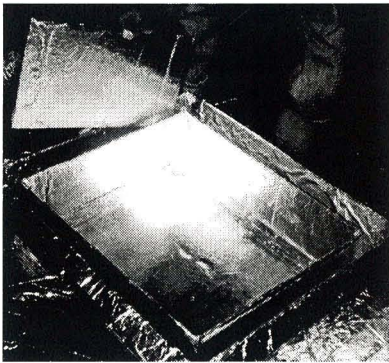


Figura 9: Aislamiento entre cajas.

Se puede disminuir las pérdidas de calor globales, agregar en los espacios huecos, entre las cajas, materiales aislantes de desperdicios o sobras. Por ejemplo, pueden utilizarse pequeñas bolitas de papel periódico hechas a mano, plumas, lana vieja, hojas secas, cáscaras secas de frutos, etc. Muchos materiales de origen vegetal o incluso sintético son aceptables como aislamiento, siempre y cuando se encuentren totalmente secas, permanezcan en el mismo estado durante mucho tiempo y resistan el calor. Para nuestras necesidades de diseño es suficiente con las placas forradas de aluminio mencionadas anteriormente.

F) SELLADO DE HUECOS ABIERTOS ENTRE CAJAS

Si quedara algún orificio en las cajas pueden ser sellados con piezas pequeñas de cartón.

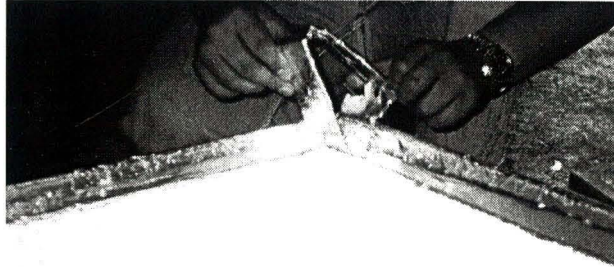


Figura 10: Doblar las faldillas excedentes para que sujeten las piezas de cartón aislante.

G) SOPORTES DE LA PLACA ABSORBEDORA

Pegar cuatro trozos de corcho de 3cm de alto y pegarlos en las cuatro esquinas de la placa absorbedora. Servirá para separar el fondo de la caja a la platina, evitando las pérdidas de calor hacia el suelo.



Figura 11: Cortar la platina de 28 x 34 cm.



Figura 12: Pegar los trozos de corcho

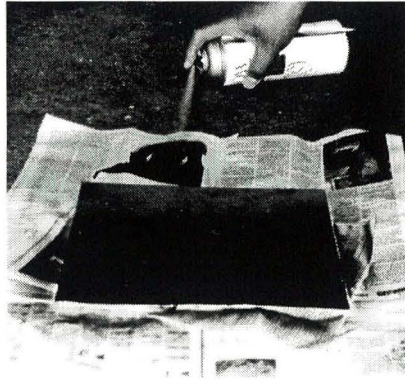


Figura 13: Pintar la placa absorbedora de color negro mate.

H) ARMARADO DE LAS CAJAS

Doblar todas las solapas y verificar si quedo algún hueco o si el papel aluminio quedo mal pegado.

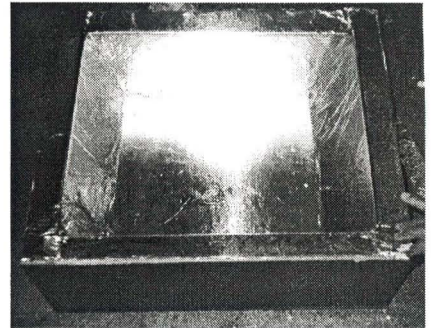
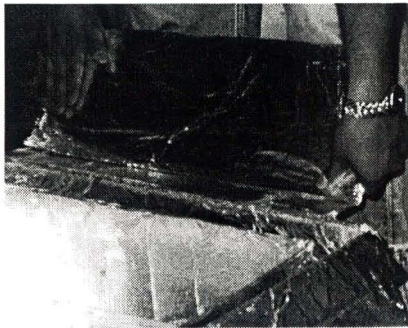


Figura 14: Doblar las solapas.

I) COLOCACION DE LA PLACA ABSORBEDORA EN EL FONDO DE LA CAJA INTERIOR

Colocar la placa en el interior y centro del fondo.

J) CONSTRUCCION DE LA TAPA

Poner la pieza de cartón regular con Agropak para formar la tapa sobre la caja y usarlo como reflector. Doblar 5 cm de un lado y pegar papel aluminio en toda la lamina. Pegarlo en un costado de la caja. Dimensiones: 56 x 66 cm.

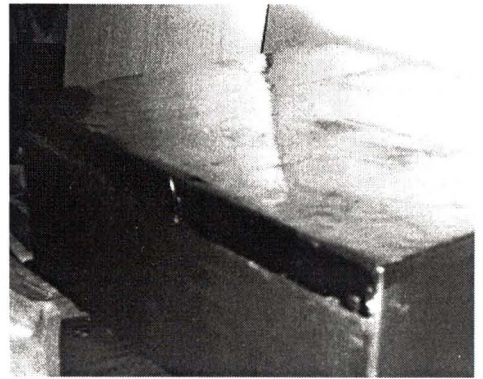
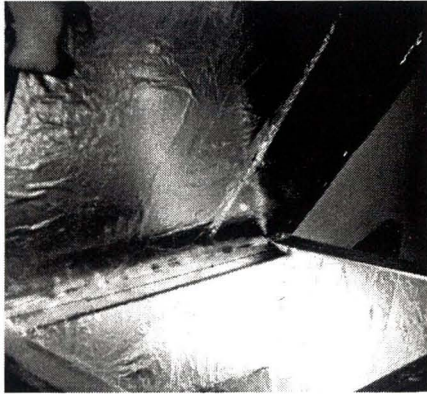


Figura. 15: Reflector

K) CONSTRUCCION DE LA VENTANA Y LA ESTRUCTURA.

Conseguir un vidrio blanco de 5 mm de espesor y de 72 X 62 cm, de tal forma que exceda la caja externa del horno solar. Armar la estructura con las reglas de madera y colocar el vidrio. Verificar que esté bien pegado.

Conviene reforzar la parte en la que permanece unido el reflector a la tapa, con el fin de evitar que al levantar y bajar repetidas veces, se rompa. Puede usarse hule con abundante pegamento o cartón reforzado.

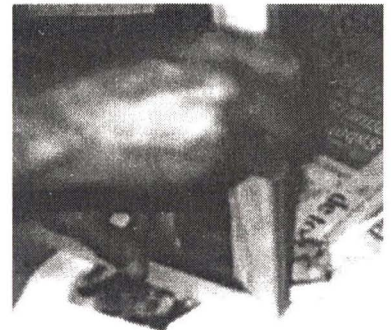
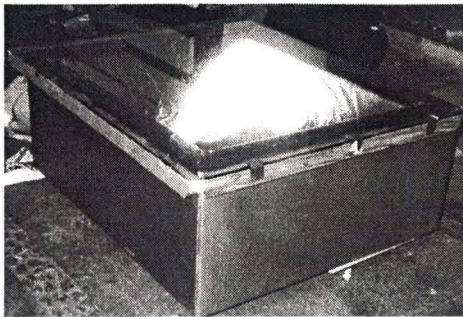


Figura 16: Se deja un lado sin estructura de madera para que allí pueda levantarse el vidrio y se sostenga en el reflector ya pegado. Utilizar silicon especial para pegar el vidrio a la madera.

L) SOPORTE PARA EL REFLECTOR

Esto permitirá mantenerlo fijo en el ángulo adecuado a nuestra latitud. La forma de colocación del reflector aumentará la incidencia de los rayos solares. Se coloca una pita desde la parte de arriba del reflector hasta las bases de madera del horno solar y provocará que éste se estabilice y pueda colocarse en el ángulo deseado.

XXX. Orientación del Horno Solar

La mejor forma de orientar los colectores, suponiendo que se está en el hemisferio Norte (Guatemala), se orienta hacia el sur geográfico, que no es igual al sur magnético definido por la brújula. Las inclinaciones más adecuadas del colector, según la época del año, son:

- Para uso diario y todo el año, el ángulo de inclinación del colector es igual a la latitud del lugar.
- Si el horno es fijo y se usara sólo en invierno, es recomendable que tenga un ángulo de 10° más que la latitud del lugar.
- Si se quiere usar sólo en verano, tendrá un ángulo con la horizontal que sea menor que 5° a la latitud del lugar.

Debe preverse las posibles sombras, para lo cual debe saberse el concepto del azimut solar y la altura solar.

Hay que recordar que si estamos en el hemisferio norte, el día más desfavorable en proyecciones de sombra es el 21 de diciembre, ya que la altura solar es mínima, y el medio día solar tiene el valor siguiente:

$$Ho = (90^\circ - \text{latitud del lugar}) - 23.52^\circ$$

$$\text{Latitud del lugar} = 14.9^\circ$$

$$Ho = 51.58^\circ$$

Ho : es el ángulo máximo posible, durante el año, de la sombra proyectada..

En la ubicación del horno se debe procurar que no haya pérdidas de energía por reflexión, por lo que los rayos solares tienen que chocar perpendicularmente en la cubierta transparente. Si se quiere menos radiación solar en verano, se busca una inclinación en la que haya más pérdidas por reflexión que en invierno. El ángulo de inclinación que debe tener el horno es igual a la latitud de Guatemala, 17.5 grados, así la energía incidente es máxima.

XXXI. ¿Cómo orientar el horno a lo largo de su utilización?

Ya se ha comentado la necesidad de orientar la superficie acristalada de nuestra cocina en la dirección de los rayos solares. Dado que el sol realiza un recorrido a lo largo del día, nuestra cocina debería, en el mejor de los supuestos, ir corrigiendo su orientación para seguir el desplazamiento solar, no obstante, en la práctica basta un número reducido de reorientaciones. Por supuesto, cuanto mejor orientada está, mejor funcionará. Además, se deberá situar la cocina en un lugar resguardado del viento.

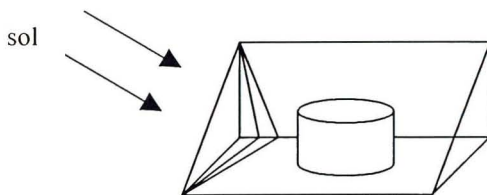


Fig. 1. Horno con los rayos procedentes de su izquierda.

En la figura 1,2,y 3 se observa la incidencia de los rayos solares sobre el horno solar desde la izquierda, desde la derecha y de frente. Puede observarse, cómo cuando los rayos vienen de la derecha o de la izquierda, se produce una sombra en su interior y no se dan las condiciones mejores de captación de la radiación solar. Estas orientaciones son las que se han de evitar. Tratar de ubicar el horno solar en donde no se proyecte ninguna sombra, y utilizar como referencia la altura solar o el ángulo solar.

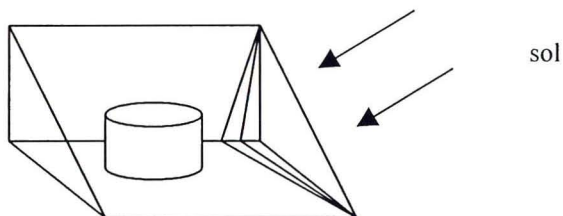


Fig.2. Horno solar con los rayos solares procedente de su derecha.

Los hornos de acumulación no es tan necesaria una esmerada orientación ya que estos ofrecen una mayor autonomía en la operación de cocinar, comparado con los otros diseños ya existentes.

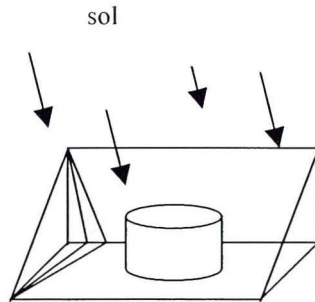


Fig.3. Horno solar bien orientado.

XXXII. Resultados de Prototipo

- Se orientó el horno solar hacia el sur a las nueve de la mañana y se tomaron temperaturas del agua durante todo el día de sol de los días 23, 24, 25 y 26 de octubre de 1999. Se recopilaron datos a las 9:00 A.M., 10:00 A.M., 11:00 A.M., 12:00 P.M., 13:00 P.M., 14:00 P.M. y 15:00 P.M. Se registraron en el INSIVUMEH, los datos de temperatura ambiente, nubosidad y radiación solar. Se resolvió las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) con los datos reales y se encontró la eficiencia del horno a cada hora al utilizar siempre la temperatura inicial del agua. ($\eta = Q/SI$).

Octas de cielo cubierto o nubosidad:

8/8 = Cielo cubierto (100 %)

4/8 = Cielo cubierto a la mitad (50%)

0/8 = Cielo despejado (0%)

Fecha 23/10/99	Radiación Solar cal/min*cm ²	Octas de cielo cubierto, Nubosidad	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Eficiencia $\eta = Q/SI$
09:00 A.M.	1.05	8/8	19.4	27	0
10:00 A.M.	1.10	8/8	21	55	0.10
11:00 A.M.	0.9	8/8	21.6	67	0.18
12:00 P.M.	0.55	8/8	21.4	60	0.24
13:00 P.M.	0.55	6/8	20.4	54	0.19
14:00 P.M.	1	4/8	21.8	66.5	0.16
15:00 P.M.	0.60	5/8	21.4	63	0.24

El 23 de octubre de 1999 se tuvo una radiación solar promedio de 0.82 cal/cm²*min y una eficiencia promedio del horno de 18.5 % . Se puede observar en la tabla, que durante las horas de sol, el cielo estaba bastante cubierto, no dejando pasar la radiación directa hacia la superficie. Había una temperatura ambiental promedio de 21 °C.

Fecha 24/10/99	Radiación Solar cal/min*cm ²	Octas de cielo cubierto, Nubosidad	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Eficiencia η= Q/SI
09:00 A.M.	0.95	6/8	16.4	24	0
10:00 A.M.	1.15	6/8	18.2	58	0.14
11:00 A.M.	1.05	6/8	19.4	71	0.19
12:00 P.M.	0.9	4/8	20	73	0.22
13:00 P.M.	0.95	6/8	21	72.5	0.21
14:00 P.M.	0.80	6/8	21.2	68	0.22
15:00 P.M.	0.7	6/8	20.8	60	0.21

El 24 de octubre de 1999 se tuvo una radiación solar promedio de 0.93 cal/cm²*min y una eficiencia promedio del horno de 19.8 % . Se puede observar en la tabla, que durante las horas de sol, el cielo estaba menos cubierto que el día 23/10/1999 logrando mayor radiación incidente sobre la superficie del horno. Había una temperatura ambiental promedio de 19.6 °C.

Fecha 25/10/99	Radiación Solar cal/min*cm ²	Octas de cielo cubierto, Nubosidad	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Eficiencia η= Q/SI
09:00 A.M.	1.00	2/8	16.6	24	0
10:00 A.M.	0.98	5/8	17.2	60.5	0.14
11:00 A.M.	1.30	4/8	18.4	78	0.17
12:00 P.M.	1.25	2/8	19.4	87	0.20
13:00 P.M.	1.10	1/8	20.6	88	0.24
14:00 P.M.	1	1/8	21.0	80	0.22
15:00 P.M.	0.70	1/8	21.0	73.5	0.28

El día 25 de octubre de 1999 se tuvo una radiación solar promedio de 1.05 cal/cm²*min y una eficiencia promedio del horno de 23,7 % . Se puede observar en la tabla, que durante las horas de sol, el cielo estaba despejado, aumentando la radiación incidente sobre la superficie. Había una temperatura ambiental promedio de 19.2 °C.

Fecha 26/10/99	Radiación Solar cal/min*cm ²	Octas de cielo cubierto, Nubosidad	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Eficiencia $\eta = Q/SI$
09:00 A.M.	1.10	7/8	17	25	0
10:00 A.M.	1.25	7/8	18.2	64.5	0.13
11:00 A.M.	1.32	7/8	19.4	89	0.19
12:00 P.M.	1.25	6/8	20	92	0.22
13:00 P.M.	1	7/8	21	91.5	0.27
14:00 P.M.	0.95	7/8	21.2	87	0.26
15:00 P.M.	0.60	7/8	20.8	77.5	0.35

El día 26 de octubre de 1999 se tuvo una radiación solar promedio de 1.06 cal/cm²*min y una eficiencia promedio del horno de 23,7 %. Se puede observar en la tabla, que durante las horas de sol, el cielo estaba más cubierto que el día 25/10/1999; sin embargo se obtuvo una mayor radiación incidente sobre la superficie del horno. Había una temperatura ambiental promedio de 19.7 °C.

- Resultados del procedimiento de potabilidad del agua:
La muestra se tomó en un tubo de ensayo esterilizado de capacidad de 100 ml.
Se utilizó 1×10^3 células por mililitro de E-coli como parámetro de contaminación.
Método de Recuento Total Aeróbico en Placa:
Para una incubación de 48 horas a 35 ± 2 °C
La muestra de 1 en 10 en concentración fue de 2 UFC/ml (unidad formadora de colonia). La muestra de 1 en 100 y la de 1 en 1000 fue de < 10 UFC/ml. Lo cual establece, según la norma COGUANOR, es agua potable.
Método de Número Más Probable:
Para una incubación de 24 horas a 35 ± 2 °C
Se utilizó en caldo LMX (caldo para recuento de coliformes totales y E-coli). La muestra indicó que no hubo crecimiento de E-coli ni de coliformes totales. Resultado <3 NMP/100 ml

XXXIII. Costo Prototipo

El costo del prototipo es de Q 325.00. Al concluir la construcción del horno solar sobró silicon, pegamento, madera, papel aluminio y aislante tapagoteras. Para una producción en serie, los precios por unidad bajarían considerablemente.

XXXIV. Costos del Horno Solar Por Millar

Horno Solar					
Descripción		Unidades Hornos	Costo	costo p/u	Costo Q
Caja Pequeña	Regular	1000	\$1,338.23	\$1.34	Q 10.44
Caja Grande	Agropak	1000	\$2,359.52	\$2.36	Q 18.40
Lámina	Agropak	1000	\$ 950.00	\$0.95	Q 7.41
Vidrio blanco	s/especific	1000	\$5,120.00	\$5.12	Q 39.94
Madera Moldura	s/especific	1000	\$2,500.00	\$2.50	Q 19.50
Madera Soportes	s/especific	1000	\$ 736.00	\$0.74	Q 5.74
Pintura	s/especific	1000	\$ 384.00	\$0.38	Q 3.00
Lámina de cobre	s/especific	1000	\$2,800.00	\$2.80	Q 21.84
Papel Aluminio	s/especific	1000	\$1,900.00	\$1.90	Q 14.82
Cola Blanca	s/especific	1000	\$1,283.00	\$1.28	Q 10.01
Pegamento especial	s/especific	1000	\$1,276.00	\$1.28	Q 9.95
Clavos de acera	s/especific	8000	\$ 80.00	\$0.01	Q 0.08
Cinta Tapa Goteras	s/especific	1000	\$2,564.00	\$2.56	Q 20.00
Total por unidad				\$23.22	Q 181.12

El costo de materiales por millar es de Q 181.12 . La mayoría de los materiales cotizados fueron de desperdicio o reciclaje.

XXXV. Conclusiones

- El modelo diseñado es fácil de construir y adecuado a las condiciones locales guatemaltecas; utiliza materiales fáciles de conseguir de productores locales y del reciclado de materiales.
- El prototipo construido es más eficiente para radiaciones altas sin importar significativamente la temperatura ambiental y la nubosidad.
- Se visualizó la posibilidad de utilizar otra clase de energías no convencionales como la energía solar. Los tres motivos por lo cuales se elaboró este tema de tesis:
 - 1) Lograr la autosuficiencia e independencia respecto de las energías convencionales.
 - 2) Contribuir a frenar el deterioro ecológico del planeta al utilizar energías limpias y no contaminantes.
 - 3) Conseguir un beneficio económico al aprovechar energía que llega gratuitamente hasta el lugar de consumo.
- El horno solar tiene varias aplicaciones de uso, que pueden ser potencialmente beneficiosas para el desarrollo y algunos problemas de países no desarrollados.
- La guía de diseño del horno solar es flexible de modo que el lector pueda hacer las variantes que le convenga de materiales y tamaños de las cajas.
- En el área de seguridad en el hogar, este sencillo sistema no tiene rival, entre otras ventajas por no generar humo y no utilizar fuego ni ningún combustible.
- En los países subdesarrollados, frente a las dificultades de proveerse de combustible para cocinas, los hornos solares son una alternativa providencial para la elaboración de sus alimentos, máxime que a menudo en estos países son muy ricos en insolación solar. Esta es una de sus aportaciones principales.
- Guatemala se encuentra en una ubicación deseable para aplicaciones de energía solar, donde se desaprovecha algunas alternativas de solución a problemas socioeconómicos.
- En Guatemala, el gobierno no tiene una política clara y definida respecto de la utilización de la energía solar.
- En Guatemala existen cerca de 200 organizaciones no gubernamentales, de las cuales ninguna tiene proyectos que contemplen el uso de energías alternativas como la solar.

XXXVI. Recomendaciones

- Al sector público, como responsable del desarrollo del país, para que impulse una política de utilización de la energía solar en diferentes formas, principalmente en los hornos solares por los beneficios económicos, sociales y ambientales que se obtienen con estos. Lo anterior se puede hacer a través de las instituciones tales como INSIVUMEH, CONCYT, Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de Educación, Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas y otras entidades afines.
- A las universidades del país, específicamente a las facultades de ingeniería, para que dentro de su pensum se incorporen cursos y prácticas sobre energía solar, así como fomentar la investigación en dicho campo.
- Al sector privado, para que asignen recursos financieros en la inversión en el desarrollo de tecnología; para la utilización de energía solar, con el fin de que la mayoría de la población tenga acceso a ella.

XXXVII. Referencias Bibliográficas

CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar). (1999). **La Energía Solar, Aplicaciones Prácticas** (tercera edición). España, Sevilla. Artegraf, S.A.

CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar). (1992). **Instalaciones de la Energía Solar** (tercera edición). Tomo II " Energética Solar". Tomo III "Sistemas de Aprovechamiento Térmico I ". Tomo IV "Sistema de Aprovechamiento Térmico II". Tomo V "Sistema de Conversión Eléctrica". España, Sevilla. Artes Gráficas Gala, S.L.

CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar). (1994). **Cocinas Solares, Manual de Uso y Construcción** (primera edición). España, Sevilla. Artes Gráficas Gala, S.L.

García Joan. (1999). **La Cocina Solar. El nuevo arte de cocinar de modo saludable y ecológico** (primera edición). España, Sevilla. Artes Gráficas Gala, S.L.

Jarabo Friedrich, Francisco. Perez Domínguez, Celestino. Elortegui Escartin, Nicolás. Fernández Gonzales, José. Macías Hernández, José Juan. (1991). **El libro de las Energías Renovables** (2 da. Edición). España, Madrid. Artes Gráficas Gala, S.L.

López Figueroa Pedro (1997). **EL AGUA, Tecnología de su distribución u uso** (primera edición). España, Sevilla. Artes Gráficas Gala, S.L.

Thulasi Das et al. (1994): Solar Box Cooker: Part 1-2, **Modeling, Solar Energy-Analysis and Simulation, Solar Energy**, Vol. 52