UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TÍTULO

"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS FUNCIONAL-EXPERIMENTAL DE UNA COCINA SOLAR COMBINADA (PARVATI – TIPO CAJA) PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA CIEM – UNL."

TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECÁNICO

AUTOR: César Osvaldo Uyaguari Carrión

DIRECTOR: Ing. Msc. Thuesman Montaño Peralta

LOJA - ECUADOR

2014

CERTIFICACIÓN

Ing. Thuesman Estuardo Montaño Peralta, Mg, Sc.

DIRECTOR DE TESIS.

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en: **"Diseño, construcción y análisis funcional-experimental de una cocina solar combinada (Parvati – tipo caja) para el Laboratorio de Energías Renovables de la CIEM – UNL."** , previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por el señor egresado: **César Osvaldo Uyaguari Carrión**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizó se presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, Enero del 2014

.....

Ing. Thuesman Estuardo Montaño Peralta, Mg, Sc.

DIRECTOR DE TESIS.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **César Osvaldo Uyaguari Carrión**, declaro se autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Autor: César Osvaldo Uyaguari Carrión.

Firma:_____

Cédula: 0704765679

Fecha: 02/06/2014.

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo **César Osvaldo Uyaguari Carrión**, declaro ser autor de la tesis titulada: **"Diseño, construcción y análisis funcional-experimental de una cocina solar combinada (Parvati – tipo caja) para el Laboratorio de Energías Renovables de la CIEM – UNL."**, como requisito para optar al grado de: **Ingeniero Electromecánico**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los dos días del mes de junio del dos mil catorce.

Firma: _____

Autor: César Osvaldo Uyaguari Carrión.

Cédula: 0704765679 **Correo Electrónico:** cesarin2011@hotmail.es

Dirección: El Cisne **Celular:** 0986665086 – 072-106-163

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Thuesman Estuardo Montaño Peralta, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Carlos Gustavo Samaniego Ojeda, Mg. Sc.

Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta, Mg. Sc.

Ing. José Miguel Eras Gallegos; Mg. Sc.

PENSAMIENTO

"Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber."

Albert Einstein

"Ponte de frente al sol y las sombras quedarán detrás de ti."

Proverbio Mahorí

"Empieza haciendo lo necesario, después lo posible, y de repente te encontrarás haciendo lo imposible."

San Francisco de Asís

DEDICATORIA

Con mucho amor y agradecimiento a la **Virgencita de El Cisne**, que me acompaño e ilumino durante toda mi carrera universitaria.

A mi querido **Padre**, **Hermana** y en especial a mi **Madrecita** quien siempre confió en mí y nunca escatimo esfuerzos para que pueda cumplir con los proyectos y metas que durante mi etapa universitaria me los propuse; va con mucho cariño y esfuerzo para todos ellos.

EL AUTOR

AGRADECIMIENTOS

Es preciso dejar constancia de un agradecimiento formal a la ***Universidad Nacional de Loja***, en especial al ***Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables***, representada en cada uno de los docentes, que en su momento me brindaron sus conocimientos y apoyo para la formación como futuros profesionales. De manera especial:

- Al ***Ing. Msc. Thuesman Estuardo Montaño Peralta***, Director de Tesis, por haber colaborado en la realización del presente proyecto.

- Mi gratitud a la ayuda y guía del ***Ing. Byron Solórzano Castillo***, Consultor privado, el cual siempre se mostró optimista, con ideas para aportar y me dio su apoyo en todo momento.

- Igualmente a mis ***familiares***, ***compañeros*** y ***amigos*** del club ***"La Candela"*** que con su apoyo y ánimo me impulsaron a la culminación de mi Proyecto de Tesis.

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA II
PENSAMIENTO IV
DEDICATORIA V
AGRADECIMIENTOS VI
TABLA DE CONTENIDOS VII
a.- TÍTULO: 1
b. RESUMEN 2
c.- INTRODUCCIÓN 3
d.- REVISIÓN DE LITERATURA 5
d.1 Capítulo I: La radiación solar 5
d.1.1 Introducción 5
d.1.1.1 Clasificación de la radiación solar 6
d.1.1.2 Influencia del ángulo de incidencia. 6
d.1.2 Efectos de la radiación al incidir sobre los materiales 7
d.1.3 El efecto invernadero 7
d.1.4 Energía solar térmica. 7
d.1.4.1 Colectores solares. 8
d.2 Capítulo II: Cocinas solares. 8
d.2.1 Antecedentes 8
d.2.2 Ventajas de las cocinas solares. 8
d.2.3 Utilización de las cocinas solares. 9
d.2.4 Tipos de cocinas solares. 10
d.2.4.1 Cocinas de concentración o reflectantes 10
d.2.4.2 Cocinas de panel 11
d.2.4.3 Cocina de concentración o reflectantes. 12
d.2.4.3.1 Cocina solar Parvati de doble ángulo y doce lados 13
d.2.4.4 Hornos solares o cocinas de caja. 15
d.2.4.4.1 Utilización de los hornos solares o cocina de caja. 16
d.2.4.4.2 Factores culturales. 16
d.2.5 Procedimientos establecidos para la caracterización de cocinas solares. 17
d.2.5.1 Normas utilizadas en diferentes partes del mundo. 17
d.2.5.2 Norma Americana (Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos). NORMA ASAE S580. 18
d.2.5.3 Cálculo del área que se forma al graficar una función. 19
d.2.5.3.1 El método de Simpson. 20
d.2.5.4 Cálculo para el análisis experimental de eficiencia de las cocinas solares 21
d.2.5.4.1 Cálculo de la variación instantánea de temperatura. 21
d.2.5.4.2 Cálculo de la ganancia de energía calorífica. 22
d.2.5.4.3 Cálculo de la potencia calórica o de cocción. 22
d.2.5.4.4 Cálculo de la radiación instantánea 23
d.2.5.4.5 Cálculo de la potencia instantánea de entrada a la cocina. 23
d.2.5.4.6 Cálculo del rendimiento instantáneo. 23

d.2.6 Recopilación de los diferentes prototipos y diseños de cocinas solares, construidos en la Carrera de Ingeniería Electromecánica (CIEM). 24
e.- MATERIALES Y MÉTODOS. 26
e.1 Capítulo III: Desarrollo experimental. 26
e.1.1 Información. 26
e.1.2 Estado del arte. 26
e.1.2.1 Cocina Parvati. 27
e.1.2.1.1 Información sobre este modelo. 27
e.1.2.1.2 Materiales para su elaboración. 27
e.1.2.1.3 Características generales del modelo. 28
e.1.2.1.4 Construcción de prototipo. 28
e.1.2.2 Cocina tipo caja. 31
e.1.2.2.1 Referencias sobre el modelo. 31
e.1.2.2.2 Materiales para su elaboración. 32
e.1.2.2.3 Características generales del modelo. 32
e.1.2.2.4 Construcción de prototipo. 33
e.1.2.3 Cocina solar combinada (Parvati – tipo caja). 37
e.1.2.3.1 Información de este prototipo. 37
e.1.2.3.2 Materiales para su elaboración. 37
e.1.2.3.3 Características que presenta este modelo. 38
e.1.2.3.4 Construcción de prototipo. 39
e.1.2.4 Determinación de los parámetros de diseño de la cocina solar (Parvati – tipo caja). 42
e.1.2.4.1 Modelo matemático propuesto, sobre el proceso de transferencia de calor en la cocina solar combinada. 42
e.1.3 Recurso solar en la zona localizada del cantón Catamayo. 46
e.1.4 Métodos para el proceso de comparación entre las cocinas solares. 47
e.1.5 Valor comparativo entre las cocinas solares. 47
f.- RESULTADOS 49
f.1 Sistematización de los diferentes prototipos de cocinas solares. 49
f.1.1 Monitoreo de las tres cocinas solares. 49
f.1.2 Cálculo del rendimiento de las tres cocinas solares. 52
f.1.2.1 Análisis funcional. 52
g.- DISCUSIÓN 58
h.- CONCLUSIONES 59
i.- RECOMENDACIONES 60
j.- BIBLIOGRAFÍA 61
k. ANEXOS 62

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1. Radiación solar 5
Figura 2. Cocina de concentración 10
Figura 3. Tipos de cocinas de panel. 11
Figura 4. Cocinas de concentración. 12
Figura 5. Modelo y medidas del panel reflectivo. 14
Figura 6. Cocina Parvati de ángulo doble. 14
Figura 7. Modelo de cocinas tipo caja. 15
Figura 8. Área que se forma al graficar una función. 20
Figura 9. Valor del área aproximada (sombreada). 21
Figura 10. Materiales utilizados en la construcción de la cocina Parvati. 27
Figura 11. Trazado y cortado de uno de los paneles. 29
Figura 12. Unión y armado de la cocina. 29
Figura 13. Unión de la base y lados con alambre. 29
Figura 14. Puesta del papel aluminio. 30
Figura 15. Doblada y soldada de platinas. 30
Figura 16. Soporte de la cocina Parvati. 30
Figura 17. Base y recipiente donde irá la masa de prueba. 31
Figura 18. Pintada y acoplamiento de la cocina Parvati. 31
Figura 19. Materiales utilizados en la elaboración de la cocina de caja. 32
Figura 20. Modelo de cocina de mejor rendimiento en el desarrollo de tesis. 33
Figura 21. Construcción de cocina de caja. 34
Figura 22. Cortada de lana de vidrio. 34
Figura 23. Colocación de lana de vidrio. 35
Figura 24. Ubicación de la caja interior. 35
Figura 25. Puesta del papel aluminio. 35
Figura 26. Cubierta de vidrio que poseerá la cocina. 36
Figura 27. Paneles exteriores de la cocina. 36
Figura 28. Pintada y unión de todas las partes de la cocina. 36
Figura 29. Materiales que utilizaremos. 37
Figura 30. Nuevas medidas para el trazado y cortado de los paneles. 39
Figura 31. Modelo de las dos cocinas Parvati. 39
Figura 32. Medida y cortada de lana de vidrio. 40
Figura 33. Cocina Parvati interna con lana de vidrio. 40
Figura 34. Doblado y ensamblaje de platina. 40
Figura 35. Empernado y soldada de paneles. 41
Figura 36. Soporte de cocina combinada. 41
Figura 37. Base y recipiente para realizar pruebas. 41
Figura 38. Pintada y armada de cocina combinada. 42
Figura 39. Vidrio que cubrirá a la cocina solar combinada. 42
Figura 40. Flujo de calor desde el recipiente, hacia el exterior de la cocina. 43
Figura 41. Circuito simplificado del flujo de calor, considerando la radiación, convección y conducción. 44

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de la recopilación de los distintos prototipos y diseños de cocinas solares, construidos en la CIEM. 24
Tabla 2. Promedio de radiación mensual. 46
Tabla 3. Primer día de monitoreo de las tres cocinas solares. 49
Tabla 4. Segundo día de monitoreo de las tres cocinas solares. 50
Tabla 5. Tercer día de monitoreo de las tres cocinas solares. 51
Tabla 6. Resultados de monitoreo de cocina tipo Parvati. 53
Tabla 7. Resultados finales de las cocinas monitoreadas. 56

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Compendio de promedios mensuales. 47
Gráfica 2. Variación de temperatura. 54
Gráfica 3. Variación de radiación. 54
Gráfica 4. Comportamiento de cada tipo de cocina, bajo las mismas condiciones. 57

SIMBOLOGÍA

T_a	Temperatura ambiente $(°C)$.
Q	Potencia (W).
T_2	Temperatura final del agua $(°C)$.
T_1	Temperatura inicial del agua $(°C)$.
m	Masa de agua (kg).
c_p	Capacidad calorífica (4185,5 J / kg °C) para el agua.
ΔT_i	Variación de temperatura (°C).
T_i	Dato instantáneo de temperatura obtenido cada 5 min (°C).
Ec	Energía calorífica $(joules)$.
Ps_i	Potencia calorífica instantánea (vatios).
t	Tiempo (s).
Rad_i	Radiación instantánea $\left({W}/{m^2}\right)$.
Rad_{i+1}	Radiación siguiente $\left({W}/{m^2}\right)$.
Pe_i	Potencia instantánea de entrada (W)
A_c	Área de captación de la cocina (m^2).
η_i	Rendimiento instantáneo.
a	Inicio del intervalo de mediciones.
b	Fin del intervalo de mediciones.
n	Número de intervalos de medición.
$\Delta T_{(media)}$	Variación de temperatura media.
$R_{(media)}$	Radiación media.
P_e	Potencia de entrada (promedio).
P_o	Potencia promedio (vatios).
η_{cocina}	Rendimiento de la cocina.
Ee	Energía de entrada.
Es	Energía de salida.
$\Delta E_{sistema}$	Variación de energía en el sistema.
$q_{superior}$	Flujo de calor partes superior de la cocina $\left({W}/{m^2}\right)$.
q_{lado}	Flujo de calor en la pared de la cocina $\left({W}/{m^2}\right)$.

q_{cond}	Transferencia de calor por conducción $\left({}^{W}/_{m^2}\right)$.
R_{cond}	Resistencia de calor por conducción.
q_{conv}	Transferencia de calor por convección $\left({}^{W}/_{m^2}\right)$.
R_{conv}	Resistencia de calor por convección.
q_{rad}	Transferencia de calor por radiación $\left({}^{W}/_{m^2}\right)$.
R_{rad}	Resistencia de calor por radiación.
A_s	Área de la superficie (m^2).
T_s	Temperatura de la superficie (°C).
T_{alr}	Temperatura alrededor de la superficie en estudio $(°C)$.
T_{α}	Temperatura del fluido alejado de la superficie $(°C)$.
ε	Emisividad.
δ	Absortividad $\left({}^{w}/_{m^2 \cdot K}\right)$.
A	Área de transferencia de calor.
h	Coeficiente de transferencia de calor $\left({}^{w}/_{m^2 \cdot K}\right)$.
h_e	Coeficiente de transferencia de calor externo $\left({}^{w}/_{m^2 \cdot K}\right)$.
h_i	Coeficiente de transferencia de calor interno $\left({}^{w}/_{m^2 \cdot K}\right)$.
A_{e_c}	Área de transferencia de calor externo de la cocina. (m^2).
A_{i_c}	Área de transferencia de calor interno de la cocina (m^2).
A_{i_v}	Área de transferencia de calor interno del vidrio (m^2).
$A_{_o}$	Área de transferencia de calor en la olla (m^2).
l_{c1}	Espesor de la placa interior de la cocina de acero inoxidable (m).
k_{c1}	Coeficiente de conducción térmica para el acero inoxidable $\left({}^{w}/_{m \cdot °C}\right)$.
l_{c2}	Espesor del aislante (lana de vidrio) de la carcasa (m).
k_{c2}	Coeficiente de conducción térmica para la lana de vidrio $\left({}^{w}/_{m \cdot °C}\right)$
l_{c3}	Espesor de la placa exterior de la cocina de MDF (m).
k_{c3}	Coeficiente de conducción térmica para el MDF $\left({}^{w}/_{m \cdot °C}\right)$.

a.- TÍTULO:

"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS FUNCIONAL-EXPERIMENTAL DE UNA COCINA SOLAR COMBINADA (PARVATI – TIPO CAJA) PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA CIEM – UNL."

b. RESUMEN

El presente trabajo investigativo se basa en un análisis comparativo de dos tipos de cocinas de fácil construcción y bajo costo, como lo son la cocina de caja y la de ángulo doble (Parvati), a partir de la cuales se extrae las mejores características y ventajas funcionales, con el propósito de obtener un nuevo modelo o tipo de cocina que combine las cualidades de los prototipos comparados.

El nuevo prototipo y sus características conformarán una nueva fuente de aprovechamiento eficiente de la energía solar, sin dejar de lado dos de las ventajas principales de sus antecesoras que son bajo costo y de fácil confección.

SUMMARY

This research work is based on a comparative analysis of two types of kitchens construction easy and low cost, as are kitchen box and double angle (Parvati), from which the best features and benefits extracted functional, with the purpose of obtaining a new model or type of cuisine that combines the qualities of the prototypes compared.

The new prototype and its features make up a new source of efficient use of solar energy, without neglecting two of the main advantages of its predecessors that are low cost and easy preparation.

c.- INTRODUCCIÓN

El alto consumo energético a nivel mundial ha afectado seriamente las reservas de combustibles fósiles y el ecosistema. También es necesario considerar las dificultades que en muchas regiones se presentan para dar solución a la impostergable necesidad de preparar diariamente los alimentos, con el consecuente consumo de gas y energía que esto implica, la cual en ocasiones no está disponible. Por todo ello, la sociedad se ha visto obligada a buscar y explotar nuevas fuentes de energía en los recursos existentes en su propio territorio, para dar respuesta a sus necesidades energéticas.

Es indiscutible que los recursos solares del Ecuador están aún poco explotados, especificamente en los procesos de producción de energía eléctrica, climatización, refrigeración, calentamiento de agua, cocción de alimentos, pasteurización del agua, entre otros; los cuales presentan grandes posibilidades de brindar beneficios a todos los niveles sociales.

Las razones antes señaladas, entre otras, hacen que en nuestro país sea cada vez mayor el interés y el número de personas que se dedican a la investigación y desarrollo de diferentes modelos de cocinas solares, por lo que la cantidad y características de estas cocinas es cada vez mayor, resultando por tanto necesario establecer parámetros que definan su comportamiento.

Para realizar la evaluación de cocinas solares, se necesitan parámetros que sean relativamente independientes de las condiciones climáticas. Tales parámetros pudieran ser: la eficiencia, rendimiento, temperatura máxima, así como la potencia de cocción. En este proyecto se desea aplicar un procedimiento de ensayo para poder definir dichos parámetros en un prototipo de cocina solar combinada (Parvati – tipo caja), con el propósito de realizar un análisis de eficiencia.

Hay que tomar en cuenta que en el AEIRNNR-UNL han existido un sin número de investigaciones a cerca de cocinas solares tipo caja, pero que solo han sufrido pequeñas modificaciones ya sea en su tamaño, modelo y método de monitoreo. Por tal motivo, y luego de haber observado y analizado el Laboratorio de Energías Renovables de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica (CIEM) de la Universidad Nacional de Loja,

se concluye que no existen investigaciones sobre la cocina de ángulo doble (Parvati) y por ende del modelo combinado propuesto (Parvati - Tipo caja). Lo anteriormente expuesto conlleva a la idea fundamental de este proyecto, que es experimentar sobre una innovación con fines de lograr un rendimiento superior a los modelos convencionales y con ello abrir nuevos campos de investigación a personas dedicadas a este tipo de aprovechamiento energético.

Cabe recalcar que los prototipos de cocinas solares; tanto la Parvati (Doble ángulo) de doce lados, como la tipo caja, son los modelos que por sus características han tenido el mejor rendimiento cuando se las a construido en forma individual; por lo que, con el nuevo modelo combinado se pretende mejorar dichos rendimientos.

Para lograr las propuestas se plantea los siguientes objetivos:

Objetivo General:

- Construir y analizar el funcionamiento de una cocina solar combinada (Parvati – tipo caja), considerando los parámetros de diseño como: las dimensiones (largo - ancho), espesor, grosor del vidrio de la cubierta, y tipo de material, para determinar su eficiencia.

Objetivos Específicos:

- Recopilar la información de los diferentes prototipos y diseños construidos en Loja, específicamente por la CIEM – UNL.
- Construir las cocinas solares (Parvati – tipo caja) en forma individual, para lograr tener una idea más clara y poder mejorar la eficiencia con el modelo propuesto.
- Determinar los parámetros de diseño de la cocina solar combinada.
- Construir el prototipo de cocina combinada, tomando en cuenta los parámetros anteriormente presentados.
- Determinar la eficiencia de la cocina solar combinada empleando los mejores parámetros de diseño de las cocinas antecesoras.

d.- REVISIÓN DE LITERATURA

d.1 **Capítulo I: La radiación solar.**

d.1.1 **Introducción.**

La energía que emite el Sol se genera en las reacciones de fusión nuclear producidas en su interior, donde la temperatura estimada en el núcleo es del orden de 10 a 15 millones de grados Kelvin. Esta energía se absorbe y transmite a través de las diversas capas solares y finalmente se emite en la cromosfera en forma de radiación electromagnética y viento solar (partículas cargadas). La radiación electromagnética proveniente del Sol es lo que se denomina comúnmente como radiación solar. Su espectro es equivalente al que emitiría un cuerpo negro a 5900 grados Kelvin (temperatura de la fotosfera).

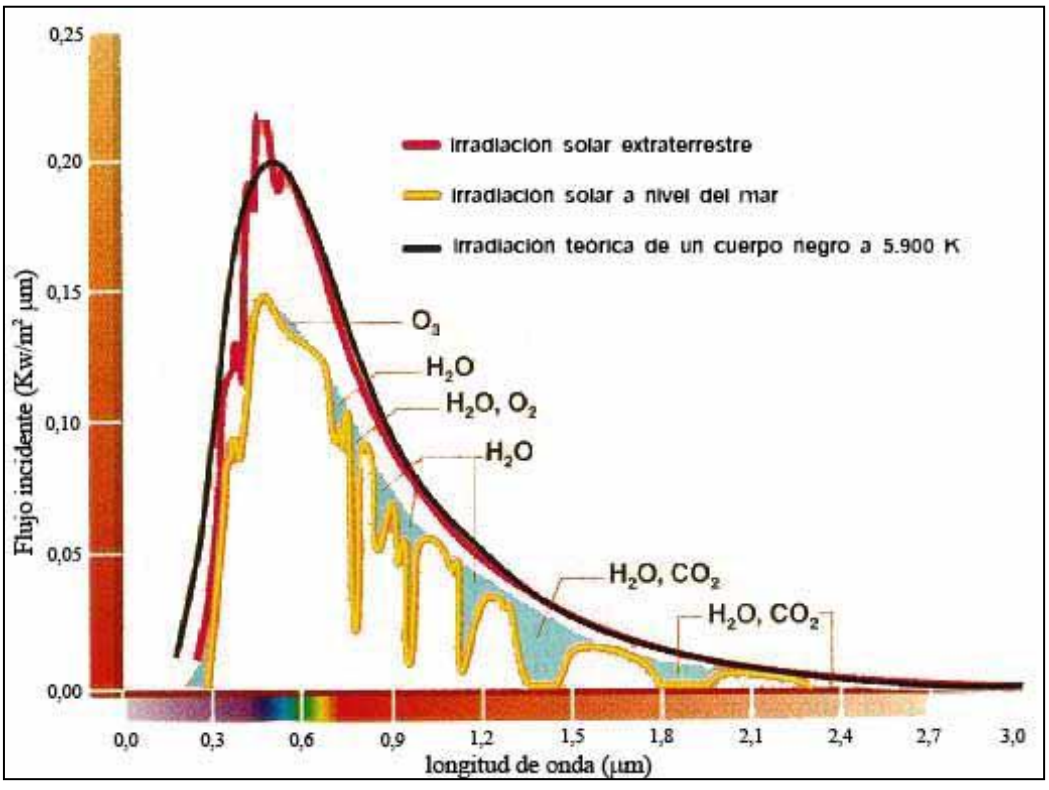


Figura 1. Radiación solar

El parámetro que indica la intensidad de la radiación solar fuera de la atmósfera terrestre es la llamada constante solar. Ésta se define como la energía incidente, en la unidad de tiempo, sobre una superficie unitaria, perpendicular a la radiación y situada en el

exterior de la atmósfera terrestre a la distancia media anual entre el Sol y la Tierra. Las últimas determinaciones realizadas proponen un valor de 1367 W/m2.

La radiación sufre ciertas transformaciones al atravesar la atmósfera debido a los fenómenos de absorción, reflexión y refracción. En términos generales, podemos decir que en un día claro la intensidad de radiación puede alcanzar los 1000 W/m2 (de los cuales el 3% es radiación ultravioleta, 57% visible y el 40% infrarroja), mientras que en días cubiertos puede llegar a 60 W/m2.

d.1.1.1 **Clasificación de la radiación solar.**

A partir de los fenómenos anteriormente expuestos podemos clasificar en:

- **Radiación directa:** Es la proveniente del disco solar sin sufrir variaciones en su dirección original. Se caracteriza porque produce sombra y puede concentrarse mediante lentes o redirigirse por medio de espejos.

- **Radiación difusa:** Es la proveniente de cualquier dirección del cielo exceptuando el disco solar. No produce sombras ni puede enfocarse con instrumentos ópticos.

A la suma de ambas se la conoce como radiación global. La distribución de la radiación entre directa y difusa depende de las condiciones de la atmósfera. En días muy claros, la radiación directa puede llegar a ser del 85%, mientras que en días cubiertos la radiación difusa supone el 100% de la radiación global. (Cristian Picoita, 2010)**.**

d.1.1.2 **Influencia del ángulo de incidencia.**

El ángulo de incidencia es el formado por la normal a la superficie y la dirección de propagación de la radiación solar. Éste influye en dos aspectos:

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

- La cantidad de atmósfera que atraviesa la radiación también depende del ángulo de incidencia.

d.1.2 **Efectos de la radiación al incidir sobre los materiales.**

Cuando una radiación llega a un material, se producen tres efectos:

− Absorción: el material absorbe la radiación.

− Reflexión: el material rechaza y devuelve la radiación.

− Refracción: la radiación traspasa el material, pudiendo variar su dirección según el ángulo de incidencia. Si la radiación incide perpendicularmente al material, ésta no variará su dirección.

d.1.3 **El efecto invernadero.**

El efecto invernadero, recibe su nombre de las estructuras que se utilizan en agricultura para "atrapar" la energía solar.

La radiación infrarroja emitida por los cuerpos terrestres, tras recibir la radiación solar, es reflejada por cierto tipo de gases presentes en la atmósfera, como el vapor de agua o el CO2. Este efecto provoca que esta radiación regrese a la superficie terrestre alentándola de nuevo.

El vidrio y ciertos plásticos, tienen un efecto muy similar a los gases de efecto invernadero. Estos materiales se utilizan en los invernaderos y cocinas solares de acumulación para aumentar la temperatura en su interior, ya que reflejan gran parte de la radiación infrarroja evitando que salga al exterior. (Cristian Picoita, 2010) (CINER, 1997) (Morillo, 1995)**.**

d.1.4 **Energía solar térmica.**

La energía solar térmica o energía termosolar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstica, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para la producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.

d.1.4.1 **Colectores solares.**

Un colector solar es una especie de intercambiador de calor que transforma la energía radiante en calor. La transferencia de energía se hace desde una fuente radiante (sol), hacia un fluido (agua o aire generalmente) que circula por los tubos o ductos del colector. El flujo de energía que finalmente intercepte el colector, proviene básicamente del rango visible del espectro solar (longitudes de onda entre 0,29 y 2,5 µm) y es por naturaleza variable con el tiempo. En condiciones óptimas podemos esperar como máximo, flujos de 1100 W/m^2. De esta forma, un análisis de colectores solares presenta problemas relacionados con radiación y flujos de energía pequeños y variables. (Cristian Picoita, 2010) (CINER, 1997) (Morillo, 1995).

d.2 **Capítulo II: Cocinas solares.**

d.2.1 **Antecedentes.**

Se tiene registro de cocinas solares desde el año 1767, año en el que el suizo Horace de Saussure construyó una caja solar que alcanzó los 87ºC.

Para cocinar los alimentos no se necesita la potencia proporcionada por las cocinas convencionales (1500 W en un quemador de 15 cm, 0,0315 m2, son unos 47600 W/m2).Podemos disminuir la potencia y aumentar los tiempos de cocción. La potencia que proporcionan los rayos solares por exposición directa no es suficiente para cocinar, es por ello que utilizamos las cocinas solares para aumentar la densidad energética solar que recibe el alimento.

Se puede definir cocina solar como aquel dispositivo que utiliza la energía solar para lograr cocinar los alimentos a través de la concentración y/o acumulación de energía solar.

d.2.2 **Ventajas de las cocinas solares.**

Las ventajas principales de la cocina solar son su economía, seguridad y favorecer al medio ambiente.

- Al no manejar fuego, no se genera humo ni dióxido de carbono y por ende se mejoran las condiciones medio ambientales tanto locales como generales.

- Aunque la cocina solar toma más tiempo en cocer que en la cocina tradicional, la comida no se quema nunca y la persona que cocina puede hacer otras cosas mientras la comida se está cocinando.
- En las cocinas de acumulación (hornos solares o cajas solares) permiten una cocción de los alimentos con un mayor mantenimiento de sus contenidos nutricionales.
- Su economía: el hecho de que no consuman ningún tipo de energía las hace muy adecuadas para países y personas con pocos recursos económicos. Evidentemente ayuda a prescindir de la dependencia de las fuentes energéticas habituales (gas, petróleo, electricidad, etc.) Recordemos que el sol es gratis e inagotable.
- Su seguridad: como no necesita ninguna fuente energética no hay riesgo de incendio, intoxicación, escape, etc.
- Mejora la calidad de vida ya que ahorra horas de trabajo en busca de leña. Ese tiempo lo pueden dedicar las mujeres y niños (son los que suelen dedicarse a buscar la leña) a otras labores o a su formación personal.
- Favorecen al Medio Ambiente: por un lado se evitaría desforestar aún más el planeta ya que estas personas necesitan leña cada día y por otro lado se evitaría contaminar más. También se necesitaría menos energía convencional (gas, electricidad, etc.).

d.2.3 **Utilización de las cocinas solares.**

Lo hermoso de las cocinas solares, entre otras cosas, es su facilidad de utilización.

- Para cocinar al mediodía en una latitud de 20º N - 20º S, las cocinas sin reflector necesitan reposicionarse un poco para encararlo al sol mientras, éste se mueve a través del cielo.
- La caja se pone de cara al sol que está alto en el cielo durante una buena parte del día.
- Las cajas con reflectores deben ponerse hacia el sol de la mañana o de la tarde para hacer que cocine esos momentos del día.
- Las cocinas solares que se usan con reflectores en zonas templadas funcionan con temperaturas más altas si la caja se reposiciona para encararla al sol cada una o dos

horas. Este ajuste de posición hace que sea menos necesario que la dimensión este/oeste de la caja se incremente en relación a la dimensión norte/sur.

d.2.4 **Tipos de cocinas solares.**

Existen un sinnúmero de modelos de cocinas solares, algunos de ellos obviamente ya patentados, aquí en este proyecto exponemos los cuatro grupos principales: cocinas solares indirectas o de colectores, cocinas de panel, cocinas de concentración o reflectantes, hornos solares o cocinas de caja. (Menayo, 2010)

d.2.4.1 **Cocinas de concentración o reflectantes.**

Se compone de dos partes: una parte de cocina y los colectores solares que se encargan de la recogida de radiación solar y transferencia de calor. El usuario no se ve afectado por la radiación y el calor, debido a que la parte de cocina está separada y protegida de la radiación.

En las cocinas solares indirectas la olla está aislada de la recepción de la radiación y se basa en transferencia de calor para transmitir a la olla de cocción. El vapor es producido por los colectores planos o concentradores, y transferido a una cámara que contiene la olla. Las cocinas sin embargo, rara vez alcanzan temperaturas superiores a 100°C y el problema que existe es la condensación en el interior del colector de vidrio.

Figura 2. Cocina de concentración

Otra posibilidad consiste en el uso de un colector solar de vacío. Este diseño de cocina indirecta puede alcanzar temperaturas superiores a los 200°C con radiación solar directa, aunque dada la capacidad del colector, puede emplearse con presencia de nubosidad.

Ventajas: Rápidos tiempos de cocción, capacidades para cocinar gran cantidad de alimentos, así como posibilidad de regular la temperatura de cocción. Mantienen buen rendimiento con radiación tanto directa como difusa. Se puede destacar la ausencia de riesgos provocados por la exposición a la radiación, puesto que la cocina puede instalarse en el interior de los edificios.

Desventajas: Dada su complejidad y el uso de otros elementos como son los colectores, resulta evidente pensar que el mayor inconveniente es el precio. Su instalación y volumen, a la vez de imprimirle seguridad a la cocina, supone que resulte complicada, difícil de manejar o modificar y consecuentemente de limpiar; y lo que es mayor inconveniente aún, que no esté al alcance de usuarios potencialmente interesados. (Menayo, 2010)

d.2.4.2 **Cocinas de panel.**

Las cocinas de panel son las más sencillas, baratas y fáciles de utilizar. La cocina se basa en una superficie de cartón o similar, recubierta de paneles reflectantes que centran la luz del Sol, gracias a su diseño, en un recipiente de cocina situado en el punto que recibe más radiación reflejada por ella.

Figura 3. Tipos de cocinas de panel.

Ventajas: La principal ventaja de estos modelos es su sencillez, los materiales son baratos y son muy fáciles de construir por uno mismo siguiendo unos planos simples y es por tanto muy manejable. Otra característica favorable a estas cocinas, es que no se

ven muy afectadas por la presencia de nubosidad moderada. Y la necesidad de orientación no es muy importante, la atención requerida es por ello reducida.

Desventajas: Como desventajas podemos considerar que la cocina de panel resulta muy inestable a vientos moderados, el uso de materiales caseros y baratos implica que la vida útil de la misma es reducida y las temperaturas alcanzadas no son muy elevadas. (Menayo, 2010).

d.2.4.3 **Cocina de concentración o reflectantes.**

Consiste en redirigir los rayos solares recibidos en una superficie a otra de menor área mediante materiales reflexivos como espejos, láminas de metales pulidos o plásticos metalizados. Si esta energía se convierte en térmica utilizando materiales oscuros que absorban la radiación, se conseguirá cocinar alimentos. La forma más comúnmente utilizada es la de una parábola; por tanto, generalmente estas cocinas se conocen con el nombre de cocinas parabólicas.

Dentro de la categoría de concentradores parabólicos, los hay de diversas clases: poco profundos, profundos, asimétricos, plegables, cilindro-parabólicos. Sin embargo también existen con otras geometrías, cilíndricas, esféricas, con espejo, o las que utilizan como reflectores lentes de Fresnel.

Son cocinas de concentración directa, utilizando un material reflectante, se dirige la radiación solar al punto focal de la cocina, y es ahí donde se sitúa el recipiente de la cocina. Los concentradores presentan gran variedad de formas pero todos ellos requieren luz directa del Sol.

Figura 4. Cocinas de concentración.

Ventajas: La ventaja principal de estas cocinas a más de tener una larga vida útil, es la temperatura que alcanzan. Podemos por ello cocinar cualquier tipo de alimento en poco tiempo.

Desventajas: Entre los puntos más negativos de la cocina parabólica, destaca el costo elevado dado que estas cocinas son principalmente útiles para comunidades con escasos recursos económicos. Se requiere una reorientación continua, cada 15 o 20 minutos para conseguir una temperatura alta y continua. Podemos sumarle el riesgo de incendio, o riesgos físicos como deslumbramiento o quemaduras a la persona que cocina. Se ven afectadas por la presencia de radiación difusa que interfiere mucho en la capacidad de incrementar la temperatura, por eso la potencia decae en cuanto aparece un obstáculo entre la cocina y el Sol. La capacidad de recuperación, depende del tiempo que permanece la cocina a la sombra, o bien del viento, del tamaño de la cocina, entre otras. (Menayo, 2010).

d.2.4.3.1 **Cocina solar Parvati de doble ángulo y doce lados.**

La cocina de ángulo doble emplea 24 paneles reflectivos pequeños para concentrar así luz extra, y contrarrestar la pérdida de calor al no usar una bolsa de plástico. El diseño de la cocina de ángulo doble es similar al de una cocina solar parabólica de foco profundo, pero en vez de formar una parábola de verdad, tiene múltiples paneles situados alrededor del recipiente de cocción.

En esta cocina puede cocinarse en dos ángulos (de 45º y 60º), y su propia forma le da una rigidez muy grande, por lo que puede ser construida a partir de cartón.

En una cocina de ángulo doble de doce lados, probada en Shanghái, se alcanzó una temperatura máxima de 140ºC dentro de un recipiente de cocción vacío, un día soleado a una temperatura ambiente de 21ºC y una ligera brisa. Los huevos se volvieron duros en media hora y dos tazas de arroz se cocieron en 95 minutos.

La cocina lleva además, una estructura de soporte, hecha con caña de bambú o palos de cualquier otra madera, que permite sujetar el recipiente con los alimentos en la posición deseada.

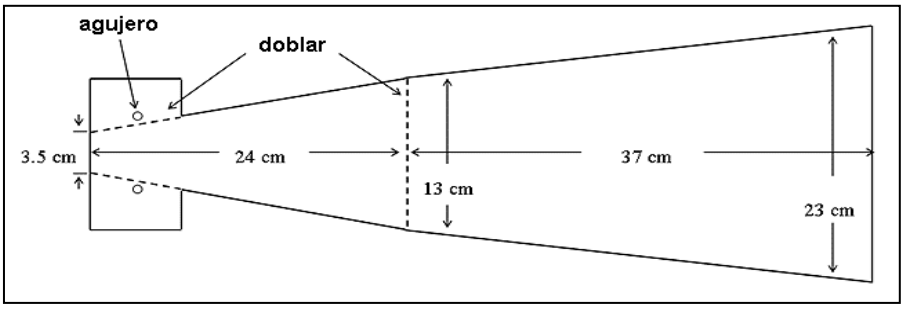


Figura 5. Modelo y medidas del panel reflectivo.

La cocina de ángulo doble se mantiene gracias a un cordón que une todos los paneles de 45º unidos por la base de la cocina. Cuando más se estreche el cordón, mejor se mantiene la cocina Parvati de ángulo doble de doce lados. Si es necesario, puede colocarse otro cordón entre dos paneles opuestos, a fin de que la cocina se tenga en pie mejor. Si quitamos ambos cordones así como la estructura que mantiene el recipiente de cocción, podremos plegar la cocina para su transporte o almacenaje.

Los materiales requeridos son: cartón, papel de aluminio, cola blanca, cinta adhesiva de papel, palos de madera (o bambú), y un cordón (cuerda fina o hilo grueso).

Notas que hay que tomar muy en cuenta:

- Aunque aquí se presenta un tamaño determinado, puede hacerse tan grande como se desee, pero al aumentar su tamaño también es más inestable y el viento la moverá fácilmente. Debido a su configuración de cono con doble ángulo, permite ser orientada hasta cada dos horas. Para cocinar se utiliza un recipiente negro dentro de una bolsa plástica.
- Hay dos formas de hacerla: a partir de circunferencias o uniendo doce lados. En ella se lleva a cabo una cocción lenta que no requiere demasiada atención.

Figura 6. Cocina Parvati de ángulo doble.

d.2.4.4 **Hornos solares o cocinas de caja.**

Las cocinas tipo caja consisten en una cámara térmica aislada, cubierta en su interior por superficies reflectoras y en donde por una de sus caras entra la radiación solar, quedando atrapada por efecto invernadero, la misma que es transformada en energía térmica. Son muy populares y pueden construirse con materiales muy baratos, su temperatura típica de operación se encuentra entre los (80 y los 120) ºC. Para modificar la dirección de los rayos solares hacia una zona determinada se añaden reflectores que en este caso son planos de material reflectante.

En el caso de los hornos, a pesar de ser muy semejantes, se utilizan espejos para reflejar la radiación solar adicional que penetra en la cámara de cocción. Por ello los materiales empleados en ellos son más sofisticados y caros como se indica a continuación.

Figura 7. Modelo de cocinas tipo caja.

Ventajas: Las cocinas de caja y hornos solares son fáciles de usar. La tecnología y conocimientos necesarios de fabricación son muy accesibles. Son capaces de mantener la comida caliente durante un tiempo elevado, gracias a su fuerte aislamiento. Los materiales de fabricación son económicos debido a la alta disponibilidad de los mismos.

Como frecuentemente los materiales de fabricación son sintéticos e impermeables, la cocina solar presenta un alto grado de limpieza. Además, dada su composición y diseño, no deslumbran, no presenta riesgos de provocar incendios, y su forma cerrada evita quemaduras y daños físicos, y le aporta estabilidad. Es una buena solución en lugares donde el clima permite su uso cotidiano. En lugares donde la radiación solar difusa es elevada, y de forma característica en las cocinas de caja, se evita el problema del seguimiento y la orientación con el Sol, ya que son capaces de funcionar con una

nubosidad relativamente elevada. Por ello, son muy sencillas de utilizar, y requieren una asistencia mínima en el proceso de cocinado.

Desventajas: Las desventajas que presenta este modelo, radican esencialmente en la velocidad de cocción lenta y la falta de homogeneidad en el cocinado de los alimentos. Se considera un tiempo de cocción de entre dos y tres horas. Esta velocidad no obstante, depende del diseño y de la eficiencia térmica de la cocina u horno en cuestión, tomando en cuenta que son más lentas que las cocinas solares parabólicas. Además, solo se puede ocupar de día, aunque con el uso de una cesta aislante se puede prolongar el efecto de la cocción varias horas.

Otro inconveniente importante, viene motivado por la forma de aislamiento, la cual provoca condensación en el interior. Esta condensación afecta a la transferencia de la radiación y provoca a su vez corrosión en las paredes internas de absorción. (Menayo, 2010).

d.2.4.4.1 **Utilización de los hornos solares o cocina de caja.**

Lo hermoso de las cocinas solares tipo caja, entre otras cosas, es su facilidad de utilización. Para cocinar al medio día en una latitud de 20º N - 20º S, las cocinas sin reflector necesitan reposicionarse un poco para encararlo al sol mientras, éste se mueve a través del cielo. La caja se pone de cara al sol que está alto en el cielo durante una buena parte del día. Las cajas con reflectores deben ponerse hacia el sol de la mañana o de la tarde para hacer que cocine esos momentos del día.

Las cocinas solares que se usan con reflectores en zonas templadas funcionan con temperaturas más altas si la caja se reposiciona para encararla al sol cada una o dos horas. Este ajuste de posición hace que sea menos necesario que la dimensión este/oeste de la caja se incremente en relación a la dimensión norte/sur. http://www.internatura.org/estudios/energias/ccsolar.html.

d.2.4.4.2 **Factores culturales.**

Además de los aspectos técnicos del diseño de la cocina solar, que destacan en primer lugar, también juegan un papel principal en transferir a la cocina solar una tecnología

que funcione con éxito, factores que incluyen la cultura, una tecnología adecuada, así como aspectos estéticos.

Las cocinas solares de cajas de cartón pueden ser apropiadas para muchas culturas, porque los materiales son generalmente asequibles y baratos. Pero las desventajas del cartón incluyen susceptibilidades por la barrera de humedad y la carencia de durabilidad comparado con otros materiales.

La estética es normalmente importante. Las culturas que tienen como normales, las formas redondeadas pueden rechazar el concepto global de cocina solar a causa de que la caja es cuadrada. Y ciertos estratos sociales pueden rechazar el cartón como un material "barato" para usarlo.

Es importante que los principios básicos del diseño solar no sean rechazados a causa de errores de modelos solares particulares o métodos de tecnología transferidos.

Ciertamente una de las ventajas de que las personas diseñen sus propias cocinas solares es que aplicarán los principios solares usando sus propios materiales y su sentido de la estética. Las personas que construyen sus casas y mobiliarios de madera o bambú, generalmente incluyen estos materiales en su diseño de cocina. Una decoración exterior de cajas solares utilizando diversas pinturas y texturas también ayuda a integrar las cocinas en una cultura dada.

d.2.5 **Procedimientos establecidos para la caracterización de cocinas solares.**

d.2.5.1 **Normas utilizadas en diferentes partes del mundo.**

Entre los procedimientos para llevar a cabo estos estudios de caracterización de los distintos tipos de cocinas solares y que son utilizados en las diferentes partes del mundo existen tres más representativos y son:

- Norma Americana, ASAE (American Society of Agricultural Engineers Standard), del año 2003;
- Norma India, Bureau of Indian Standards Testing Method; y,
- Norma Europea, European Committee on Solar Cooking Research Testing Standard. (Megia, 2010).

d.2.5.2 **Norma Americana (Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos). NORMA ASAE S580.**

Muestra el incremento de la temperatura del agua dentro de la olla, mientras la cocina opera en unas características concretas, dadas en el estándar, para llevar a cabo el proceso, concluyendo con un valor normalizado de su potencia.

Este estándar fue desarrollado originalmente por el Dr. Paul Funk como un estándar de pruebas internacionales para cocinas solares. La necesidad de dicha norma fue conocida y abordada en la Tercera Conferencia Mundial sobre la Cocina Solar, en enero de 1997 (Funk, 2000). El objetivo de esta norma era producir una medida sencilla, pero significativa y objetiva del desempeño de una cocina, que no fuera tan complicado como para que hacer las pruebas en las zonas menos desarrolladas.

ASAE S580 monitoriza la temperatura media dentro de una olla de agua, mientras que la cocina opera bajo un conjunto de directrices indicadas en la norma, para el seguimiento de procedimiento, la carga térmica, entre otras. Se realizan mediciones de temperatura del agua y se promedian en intervalos de 5 minutos.

La temperatura ambiente y la irradiancia normal (flujo de energía solar por área) también son medidos y registrados, por lo menos tan a menudo como la temperatura de carga. En condiciones de fuerte viento, insolación baja, o baja temperatura ambiente, las pruebas no deben llevarse a cabo. La figura principal de mérito utilizada por ASAE S580 es la potencia de cocción. Se calcula mediante el siguiente procedimiento.

$$\boldsymbol{Q = \frac{(T_2 - T_1)mCp}{300}} \qquad \textbf{(Ecuación 1)}$$

Donde:

Q = potencia (W)

T_2 = temperatura final del agua

T_1 = temperatura inicial del agua

m = masa de agua (kg)

c_p = capacidad calorífica (4185,5 kJ / kg °C) para el agua.

La ecuación 1 se divide por 300 para tener en cuenta el número de segundos en cada intervalo de 5 minutos.

Q se normaliza a una cifra de 700 W/m^2 a través de la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{Q_{normalizada} = Q\left(\frac{700}{I}\right)} \qquad \textbf{(Ecuación2)}$$

Donde:

I = Irvalo de insolación media (W/m^2)

Q = Potencia (W)

$Q_{normalizada}$ = Potencia de cocción normalizada

$Q_{normalizada}$ = Se representa frente a ΔT y se aproxima realizando una regresión lineal.

Mientras ASAE S580 logra el objetivo de proporcionar un test sencillo para establecer una figura de mérito universal y entendible, la norma tiene carencias en otras áreas.

A pesar de que no se menciona como un objetivo, la norma no se ocupa de asuntos que no sean estrictamente el rendimiento de la cocina. La única cifra de mérito prácticamente carece de valor para la evaluación, por qué una olla logra un cierto rendimiento, ya que deja fuera cualquier medición directa de las pérdidas de calor. Por lo tanto, cualquier uso de la norma ASAE para analizar el rendimiento de una cocina, más allá de simplemente comparar su rendimiento con otra cocina sería muy difícil.

Desde una perspectiva cualitativa, ASAE S580 no se refiere a la facilidad de uso, seguridad o temas financieros asociados con las cocinas bajo prueba. Una vez más, esto nunca se supuso como objetivo de la norma, aunque debe tenerse en cuenta que esta información podría ser igualmente importante para cualquier persona interesada en la evaluación de cocina solar. (Megia, 2010).

d.2.5.3 **Cálculo del área que se forma al graficar una función.**

Uno de los problemas matemáticos más frecuentes es el cálculo del área que se forma al graficar una función. Por ejemplo, se necesita calcular el área A que aparece en la siguiente figura:

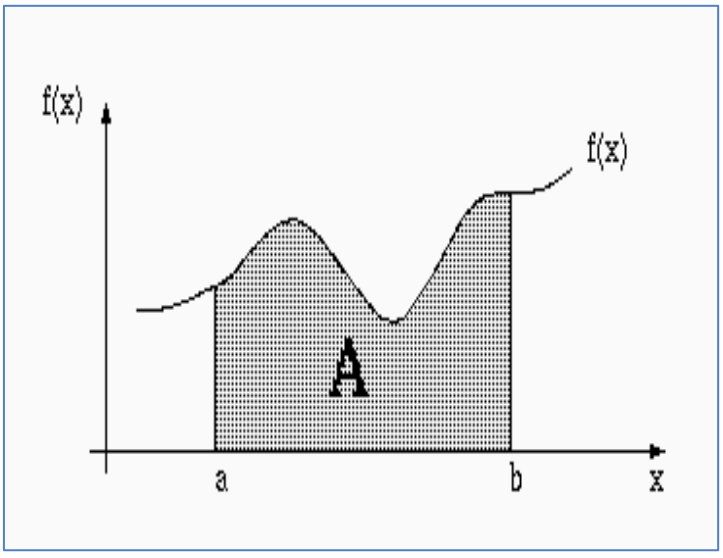


Figura 8. Área que se forma al graficar una función.

en donde la función f(x) y los valores a y b son conocidos.

En este tipo de problemas se pueden obtener dos tipos de soluciones:

- Soluciones algebraicas: se obtiene una fórmula precisa y exacta para el área solicitada.
- Soluciones numéricas: se calcula numéricamente una estimación del área.

Desde luego, la soluciones algebraicas son mejores que las numéricas, porque son exactas. Pero a veces, la complejidad de las funciones hace imposible (o difícil) obtener la solución algebraica, por lo que una solución numérica permite ahorrar tiempo.

d.2.5.3.1 **El método de Simpson.**

En este procedimiento, se toma el intervalo de anchura 2h, comprendido entre xi y xi+2, y se sustituye la función f(x) por la parábola que pasa por tres puntos (xi, yi), (xi+1, yi+1), y (xi+2, yi+2). El valor del área aproximada, sombreada en la (figura 9), se calcula con un poco más de trabajo y el resultado es:

$$\frac{h}{3}(y_i + 4y_{i+1} + y_{i+2})$$

(Ecuación 3)

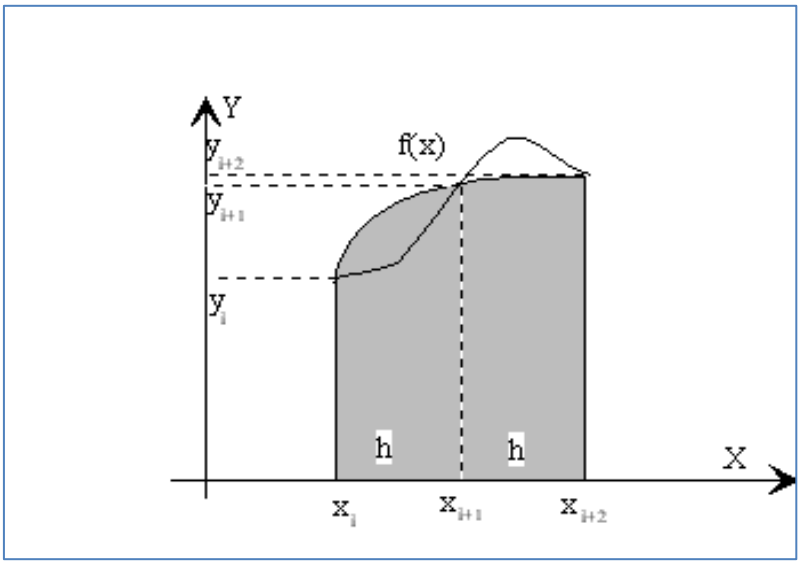


Figura 9. Valor del área aproximada (sombreada).

La simple inspección visual de esta figura y la que describe el procedimiento de los trapecios nos confirma que el método de Simpson deberá ser mucho más exacto que el procedimiento del trapecio. El área aproximada en el intervalo [a, b] es:

$$\int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + y_2) + \frac{h}{3}(y_2 + 4y_3 + y_4) + \ \dots \ + \frac{h}{3}(y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n)$$

(Ecuación 4)

agrupando términos,

$$\int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{h}{3}\left[(y_0 + y_n) + 4(y_1 + y_3 + \ \dots \ + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + \ \dots \ + y_{n-2})\right]$$

(Ecuación 5)

El primer paréntesis, contiene la suma de los extremos, el segundo, la suma de los términos de índice impar, y el tercero la suma de los términos de índice par.

d.2.5.4 **Cálculo para el análisis experimental de eficiencia de las cocinas solares.**

d.2.5.4.1 **Cálculo de la variación instantánea de temperatura.**

La variación de temperatura $\Delta \boldsymbol{T}$ de cada 5 minutos, se obtiene mediante la comparación de dos datos de temperatura (T_i) con (T_{i+1}). Entonces:

$$\Delta T_i = T_{i+1} - T_i \qquad \textbf{(Ecuación 6)}$$

Dónde:

ΔT_i = Variación de Temperatura (°C).

T_i = Dato instantáneo de temperatura obtenido cada 5 min. (°C).

d.2.5.4.2 **Cálculo de la ganancia de energía calorífica.**

En la hoja de cálculo de ante mano se ingresa la masa de prueba, que en todos los casos coincide con ser agua dulce, cuyo volumen (Vol) es 1 litro. De lo anterior se conoce que se va a evaluar la ganancia de temperatura de un litro de agua a presión constante.

La mencionada ganancia de temperatura es resultado de una ganancia de energía calórica (Ec) cuya ecuación definitoria es:

$$Ec = m \times Cp_{H2O} \times \Delta T \qquad \textbf{(Ecuación 7)}$$

O que es lo mismo su equivalente:

$$Ec = \rho_{H2O} \times Vol \times Cp_{H2O} \times \Delta T \rightarrow (joules) \qquad \textbf{(Ecuación 8)}$$

Para el agua se conoce:

$$\rho_{H2O} = 1000 \frac{Kg}{m^3} \qquad \textbf{(Ecuación 9)}$$

$$Cp_{H2O} = 4185,5 \frac{J}{Kg \times ℃} \qquad \textbf{(Ecuación 10)}$$

d.2.5.4.3 **Cálculo de la potencia calórica o de cocción.**

El valor obtenido anteriormente (la energía calórica) al ser relacionado con el tiempo de muestreo (300 s = 5 min) nos da la potencia calórica, este parámetro se usará en el cálculo de la eficiencia de la cocina, ya que este valor representa la potencia de salida, o lo que es lo mismo la potencia obtenida por el agua contenida en el recipiente interno de la cocina solar.

$$Ps_i = \frac{Ec}{300\ s} \rightarrow (vatios) \qquad \textbf{(Ecuación 11)}$$

d.2.5.4.4 **Cálculo de la radiación instantánea.**

Al mismo tiempo que se analiza la potencia obtenida, se determina la potencia de entrada, esto es mediante el uso de la radiación instantánea (Rad_i). Este valor se suma al valor siguiente de radiación (Rad_{i+1}) y se divide para dos, lo cual ofrece un valor promedio de la radiación en el lapso de análisis, de esta manera se maneja un dato más conservador de la radiación solar incidente por unidad de área.

$$\widehat{Rad}_i = \frac{Rad_i + Rad_{i+1}}{2} \rightarrow \left(\frac{w}{m^2}\right) \qquad \textbf{(Ecuación 12)}$$

d.2.5.4.5 **Cálculo de la potencia instantánea de entrada a la cocina.**

Las cocinas en estudio tienen áreas de captación definidas (Ac), dichas áreas al ser relacionadas con la radiación promedio, permiten obtener la potencia de entrada hacia la cocina. La ecuación siguiente muestra lo mencionado:

$$Pe_i = \widehat{Rad}_i \times Ac \rightarrow (vatios) \qquad \textbf{(Ecuación 13)}$$

Para el (Ac), se utilizó un programa para diseñar reflectores solares. Ver **ANEXOS 4**.

d.2.5.4.6 **Cálculo del rendimiento instantáneo.**

Conocidas las potencias por periodo de muestreo (cada 5 minutos) de entrada a la cocina y aprovechada por el recipiente de cocción, es posible hallar los rendimientos (η).

$$\eta_i = \frac{Ps_i}{Pe_i} \qquad \textbf{(Ecuación 14)}$$

Es importante mencionar que todos los cálculos realizados en la hoja de datos de monitoreo para el análisis de eficiencia de equipos solares térmicos, se hace constar en anexos ya que en la misma se realizaron los estudios sin la depuración respectiva de lo que indica la norma ASAE S580. Por ello, para brindar un cálculo más preciso se utilizó una nueva hoja de datos (**Tabla 2**), con diferentes parámetros de estudio y sobre todo que vaya encaminada a cumplir con la norma.

La tabla de adquisición de datos también permite hallar la velocidad de cambio de temperatura, las diferencias de radiación periódica, la velocidad de la ganancia

energética, entre otros aspectos importantes, todo esto en función del tipo de análisis que se esté desarrollando. (Ver **ANEXOS 6**).

Nota: En anexos se presenta como ejemplo la hoja de datos para un día de monitoreo de cada cocina solar ya que si hacemos constar todas (63), estaríamos entrando en redundancia, porque estas tienen el mismo formato.

d.2.6 **Recopilación de los diferentes prototipos y diseños de cocinas solares, construidos en la Carrera de Ingeniería Electromecánica (CIEM).**

Para la recopilación y selección de los documentos existentes en la Universidad Nacional de Loja, acerca de prototipos de cocinas solares ya sea que estén estos en: libros, tesis, revistas, proyectos, entre otros. Se recurrió específicamente a la Biblioteca del Área de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, arrojando los siguientes resultados.

Tabla 1. Resultados de la recopilación de los distintos prototipos y diseños de cocinas solares, construidos en la CIEM.

Tipo de Documento: Tesis	
Cocinas Solares Parabólicas	
Título:	Diseño y construcción de un hidroseguidor para el control del seguimiento de una cocina solar parabólica.
Autores:	CUENCA LIMA, JULIO CÉSAR; QUINDE QUILLE, ÁNGEL RODRIGO.
Número de inventario:	489
Clasificación:	621.815 C965d
Disponibilidad:	Disponible
Título:	Evaluación Térmica de Cocinas Solares Tipo Parabólica y Transferencia de Tecnología en el Cantón Zapotillo Parroquia Bolaspamba, Barrio Chaquino.
Autor:	MARTÍNEZ PALACIOS, BOLÍVAR PATRICIO.
Número de inventario:	625
Clasificación:	641.58 M385e
Disponibilidad:	Disponible
Titulo:	Construcción, experimentación y ensayos funcionales de dos cocinas solares portables tipo parábola con superficie niquelada.
Autor:	ORELLANA CUEVA, HUGO FERNANDO.
Número de inventario:	627
Clasificación:	641.58 OR66c
Disponibilidad:	Disponible

Cocinas Solares Tipo Caja	
Título:	Diseño de una cocina solar tipo caja.
Autor:	CHIMBO ARMIJOS, EDISSON ROLANDO.
Número de inventario:	623
Clasificación:	641.58 C538d
Disponibilidad:	Disponible
Título:	Evaluación térmica de cocinas solares tipo caja y transferencia de tecnología en el Cantón Zapotillo, Parroquia Bolaspamba, Barrio Chaquino.
Autor:	CORREA MARTÍNEZ, JORGE MANUEL.
Número de inventario:	624
Clasificación:	641.58 C824e
Disponibilidad:	Disponible
Título:	Construcción, experimentación y modelación de cocinas solares tipo caja (Rectangulares).
Autor:	MERCHÁN ORTEGA, MIRIAN PAOLA; PICOITA CAMACHO, FRANKLIN DANNY.
Número de inventario:	626
Clasificación:	641.58 M554c
Disponibilidad:	Disponible
Título:	Experimentación y valoración matemática de cocinas solares tipo caja.
Autor:	PICOITA CAMACHO, CHRISTIAN AUGUSTO; PACHECO ZUMBA, ÁNGEL FABIAN.
Número de inventario:	629
Clasificación:	641.58 P598e
Disponibilidad:	Disponible
Cocina Solar Mediante Proceso de Termosifón	
Título:	Cálculo, diseño y construcción de una cocina solar accionada con aceite térmico mediante el proceso de termosifón.
Autor:	PACCHA HERRERA, EDWIN BLADIMIR; SAMANIEGO OJEDA, CARLOS GUSTAVO.
Número de inventario:	628
Clasificación:	641.58 P114c
Disponibilidad:	Disponible
Tipo de Documento: Proyecto de fin de módulo	
Cocina Solar Doble Ángulo	
Título:	Construir una cocina solar de doble ángulo y validar su funcionamiento.
Autores:	Estudiantes de la CIEM periodo (2003 - 2004).
Número de inventario:	------
Clasificación:	------
Disponibilidad:	No disponible.

e.- MATERIALES Y MÉTODOS.

e.1 **Capítulo III: Desarrollo experimental.**

e.1.1 **Información.**

La eficiencia energética y la búsqueda de nuevas fuentes de energía han llevado a investigar aplicaciones de la energía solar para la generación de energía eléctrica, calentamiento de agua, pasteurización del agua, cocción de alimentos, entre otros. Si tenemos presentes todos estos parámetros antes mencionados y sobre todo la visión que presenta el actual gobierno para cambiar la matriz productiva en nuestro país y especialmente en nuestra región, podemos darnos cuenta que el camino que se ha tomado para desarrollar este proyecto de tesis, contribuirá para tener una base sólida y sobre todo una idea más amplia sobre el impacto y beneficio que presenta el utilizar este tipo de energías alternativas.

e.1.2 **Estado del arte.**

Como se mencionó anteriormente, en la Universidad Nacional de Loja existen varias investigaciones dirigidas al desarrollo de diversos prototipos de cocinas solares, con el fin de establecer sus parámetros funcionales y eficiencia.

Sobre las cocinas tipo caja (las más difundidas y que se presenta en la **Tabla 1**) se tiene alrededor de 4 proyectos de tesis y un sinnúmero de proyectos de módulo (fase práctica), de los cuales se establece un modelo con mejores características en cuanto a rendimiento se refiere.

Por otro lado, no existe tesis de grado sobre las cocinas de doble ángulo, existiendo solamente una breve fase experimental llevada a cabo como proyecto de módulo en la materia denominada Energías Alternativas, teniendo como objetivo construir un prototipo y validar su funcionamiento sin ningún tipo de análisis significativo.

En lo que respecta fuera de la UNL, existe mucha información sobre los dos tipos de cocinas (de caja y Parvati), incluyendo rendimientos y formas constructivas muy prácticas, las mismas que han sido acogidas por parte del autor del presente proyecto para aplicarlas en el diseño y confección del nuevo prototipo (combinado), del cual no

existe referencia alguna, consolidándose así como un prototipo novedoso, con expectativas de mejorar el rendimiento de sus modelos predecesores.

e.1.2.1 **Cocina Parvati.**

e.1.2.1.1 **Información sobre este modelo.**

Las características principales de este tipo de cocina solar, en lo referente a la geometría, materiales, tecnología y metodología de construcción se las estableció en un modelo que fue probado en Shanghái y publicado en el internet ya que alcanzó muy buenas temperaturas. Esta información sirvió para la fundamentación teórica, como también para su elaboración, ya que como se mencionó anteriormente, en nuestra localidad sobre este tipo de cocina solo existía escazas referencias experimentales, siendo desarrollada como trabajo de fin de módulo en la materia de energías Alternativas en el periodo (2003 – 2004).

e.1.2.1.2 **Materiales para su elaboración.**

Para la elaboración de este tipo de cocina son necesarios los siguientes materiales:

- Plancha MDF de 0,3 cm.
- Rollo de papel de aluminio común.
- Pegamento cola.
- Alambre galvanizado.
- Cinta de embalaje.

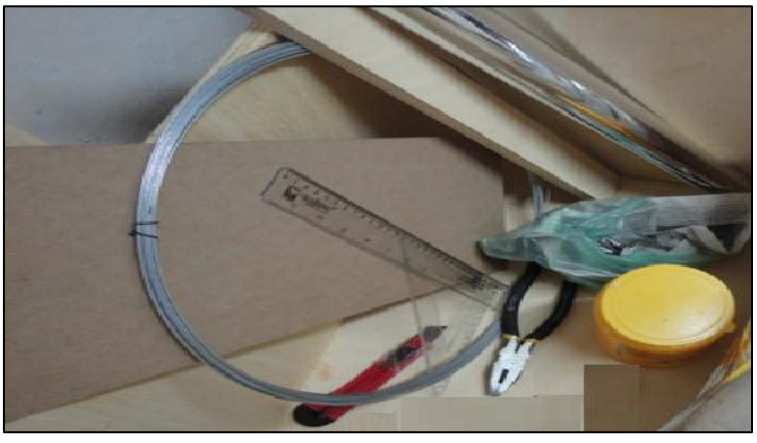


Figura 10. Materiales utilizados en la construcción de la cocina Parvati.

e.1.2.1.3 **Características generales del modelo.**

Las características propuestas para este modelo de cocina son:

- Doble ángulo.
- Doce lados.
- Material principal de la estructura: MDF.
- Material reflectante: Papel Aluminio.
- Soporte que facilite su traslado.
- Base para orientación y ubicación de la altura adecuada del punto focal.
- El elemento captador consiste en un recipiente (olla común de aluminio).

Especificación de materiales y accesorios.

- Soporte de cocina y recipiente captador:
  - Tubo cuadrado (hierro) de 1" x 0,08 cm.
  - Platina de 3/4".
  - Tubo redondo de Ɵext= 1" de acero inoxidable.
  - 2 pernos con arandela y tuerca de 1/4" x 2".
  - 1 perno 5/16" x 2".
- 2 spray de color negro mate.
- ¼ de pintura color azul turquesa.
- Recipiente de aluminio para 1 litro.

e.1.2.1.4 **Construcción de prototipo.**

Con la idea principal de que el diseño de esta cocina es similar al de una cocina solar parabólica de foco profundo, pero con la característica que en vez de formar una parábola, tendrá múltiples paneles (24) situados alrededor del recipiente de cocción; se detalla su confección en los siguientes pasos:

1. Se recorta 12 piezas rectangulares de MDF que midan 24 x 61 cm cada una.
2. Se traza y recorta la forma mostrada en la (**Fig. 9**), en cada una de las piezas, se realiza un doblez en ángulo recto a 24 cm de distancia a partir del lado más estrecho de la figura trazada.

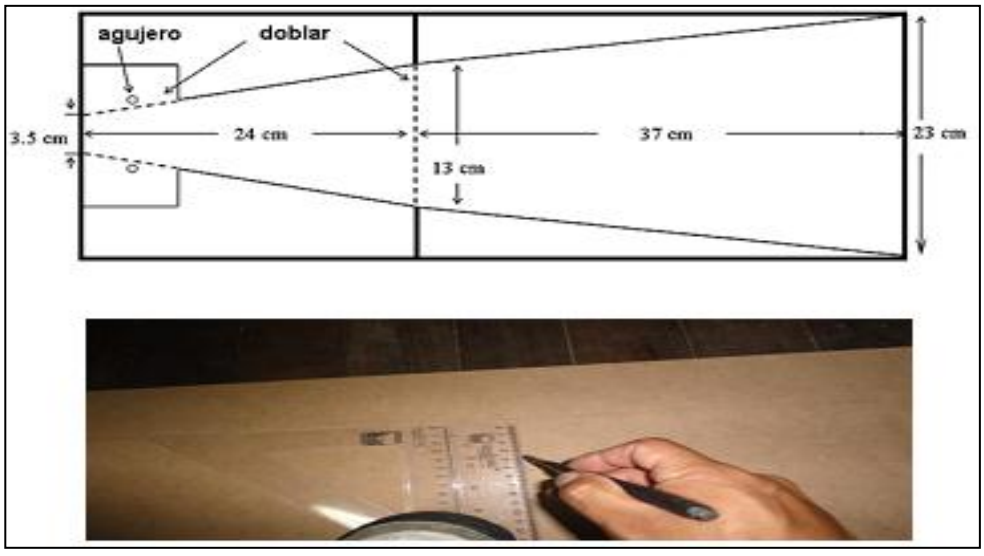


Figura 11. Trazado y cortado de uno de los paneles.

3. Luego se coloca una a lado de otro, unidos por el borde más largo; para proceder a unirlos con el alambre hasta obtener un "anillo" con doce lados.

Figura 12. Unión y armado de la cocina.

4. Se une con alambre los agujeros de las orejas de los distintos paneles, a fin de mantenerlos unidos. Para mayor eficiencia de la cocina se recomienda cubrir la abertura de la base a una distancia prudencial.

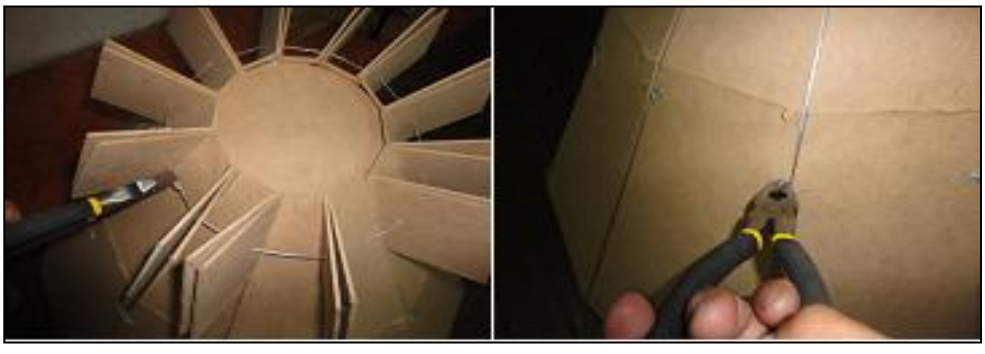


Figura 13. Unión de la base y lados con alambre.

5. Se procede seguidamente a colocar el papel de aluminio cuidando siempre de no ensuciar por que pierde sus propiedades de reflectividad.

Figura 14. Puesta del papel aluminio.

6. Luego se recorta, dobla y suelda las platinas que sostendrán a la cocina.

Figura 15. Doblada y soldada de platinas.

7. Se construye el soporte en el cual irá sostenida y girará la cocina, tomando en cuenta las distancias reales que posea ahora la cocina.

Figura 16. Soporte de la cocina Parvati.

8. Se corta, dobla y suelda la base donde irá sostenido el recipiente que contendrá la masa de prueba.

Figura 17. Base y recipiente donde irá la masa de prueba.

9. Se procese a pintar y acoplar todas las partes que conformarán la cocina Parvati de ángulo doble, de doce lados.

Figura 18. Pintada y acoplamiento de la cocina Parvati.

e.1.2.2 **Cocina tipo caja.**

e.1.2.2.1 **Referencias sobre el modelo.**

Para la investigación y elaboración de esta cocina solar, existe mayor facilidad en cuanto a información se refiere, ya que como se mencionó, existe un sinnúmero de proyectos desarrollados en el transcurso de los últimos años; con metodologías de análisis particulares, tales como: forma de monitoreo, modelos matemáticos, entre otros. Una fuente principal de consulta fue la tesis cuyo título versa: *"Evaluación térmica de cocinas solares tipo caja y transferencia de tecnología en el Cantón Zapotillo Parroquia Bolaspamba Barrio Chaquino";* por contar con resultados referente a

utilización, eficiencia y rendimiento de un grupo compacto de este tipo de cocinas. Es importante también citar que en este proyecto de tesis se evaluaron nueve prototipos; por lo que, se optó por tomar como referencia la cocina número tres (C3), que según el autor de la mencionada investigación, es el prototipo que mejor resultados ofrece.

e.1.2.2.2 **Materiales para su elaboración.**

Para la elaboración de este tipo de cocina necesitaremos los siguientes materiales:

- Plancha de plywodd de 1,5 cm.
- ½ Plancha de plywodd de 0,3 cm.
- Rollo de papel de aluminio común.
- Pegamento cola.
- Lana de vidrio.
- 2 Manijas de acero inoxidable.
- Clavos de 2".
- Vidrio de 0,04 cm.

Figura 19. Materiales utilizados en la elaboración de la cocina de caja.

e.1.2.2.3 **Características generales del modelo.**

Las características principales que presenta este modelo de cocina son dos: la primera es que para darle una mejor estética, sin modificar el diseño original se implementa un marco de aluminio "tipo ventana" para mejorar el aislamiento, facilitar su apertura y cierre. Como segunda modificación, se propone la orientación de los reflectores "tapas"

de forma más cómoda y sobre todo estable, incorporando pernos y arandelas tipo mariposa.

Especificación de material y accesorios adicionales:

- 1 spray de color negro mate.
- 1 Riel de aluminio reforzado de 1".
- 1 Riel de aluminio cuadrado de ½ "
- ¼ de pintura color azul turquesa.
- Tornillos tripa de pato.
- Caucho aislante.
- Un recipiente de aluminio para 1 litro.

e.1.2.2.4 **Construcción de prototipo.**

Partiendo del diseño de la cocina solar que mejor parámetros obtuvo durante el desarrollo del proyecto de tesis anunciado anteriormente, y luego de haber extraído todas las medidas y características; se emprende la construcción siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

Figura 20. Modelo de cocina de mejor rendimiento en el desarrollo de tesis.

1. Se corta piezas rectangulares del plywodd de 1,5 cm. que tengan las siguientes medidas:

- 4 Tiras de 43,7 x 4 cm. (separadores y soportes donde va lana de vidrio).
- 2 Tiras de 61,8 x 4 cm. (separadores frontales).
- 2 Piezas rectangulares de 40,7 x 25 cm. (laterales internos).
- 2 Piezas rectangulares de 47,8 x 25 cm. (laterales externos).
- 2 Piezas rectangulares de 35,5 x 48,7 cm. (frontales externos).
- 2 Piezas rectangulares de 35,5 x 61,8 cm. (frontales externos).
- 1 Pieza rectangulares de 53,8 x 43,7 cm. (base horizontal interior).
- 1 Pieza rectangulares de 61,8 x 51,7 cm. (base horizontal exterior).

  Y del plywodd de 0,3 cm cortamos:
- 2 Piezas de 41 x 54 cm.

2. Se coloca y une según las características citadas anteriormente, tanto la caja interna como la externa.

Figura 21. Construcción de cocina de caja.

3. Se recorta la lana de vidrio de acuerdo a las medidas de la caja interior.

Figura 22. Cortada de lana de vidrio.

4. Se coloca y sella la lana de vidrio a la caja interior.

Figura 23. Colocación de lana de vidrio.

5. Se ubica la caja interior dentro de la exterior y se procede a sellar con la tira frontal.

Figura 24. Ubicación de la caja interior.

6. Se coloca el papel aluminio en las paredes internas de la cocina solar.

Figura 25. Puesta del papel aluminio.

7. Para finalizar se corta un vidrio de 58,2 x 48,2 cm y de espesor de 0,04 cm, que servirá para poder construir el marco de aluminio y darle una mejor presentación a nuestra cocina. (opcional el marco).

Figura 26. Cubierta de vidrio que poseerá la cocina.

8. Con las dos "tapas" cortadas anteriormente se procede a colocar el papel aluminio a cada una de ellas.

Figura 27. Paneles exteriores de la cocina.

9. Por último se pinta y une las partes, constituyéndose así la cocina solar tipo caja.

Figura 28. Pintada y unión de todas las partes de la cocina.

e.1.2.3 **Cocina solar combinada (Parvati – tipo caja).**

e.1.2.3.1 **Información de este prototipo.**

En cuanto a la cocina solar combinada, se presentaron algunos inconvenientes porque hasta la fecha no existen datos de diseño y construcción de la misma, ya que solo se conocía de forma individual cada prototipo; es decir, Parvati y tipo caja por separado, es por esto que el actual trabajo investigativo emplea los datos del modelo de mejor diseño, rendimiento y construcción en cuanto a la cocina de caja se refiere (dentro de lo investigado por el Egdo. Jorge Correa, en el AEIRNNR-UNL) y un modelo de cocina Parvati común recomendado en internet. Siendo primordial en este proyecto llevar a cabo una fase experimental sobre una innovación con el propósito de lograr un rendimiento superior a los modelos base y con ello dejar la pauta en nuevos campos de investigación a personas dedicadas a este tipo de aprovechamiento energético.

e.1.2.3.2 **Materiales para su elaboración.**

Para la elaboración de este tipo de cocina son necesarios los siguientes materiales:

- Plancha MDF de 0,3 cm.
- Plancha de acero inoxidable brillante de 0,2 cm.
- Lana de vidrio.
- Alambre galvanizado.
- Vidrio de 0,4 cm.

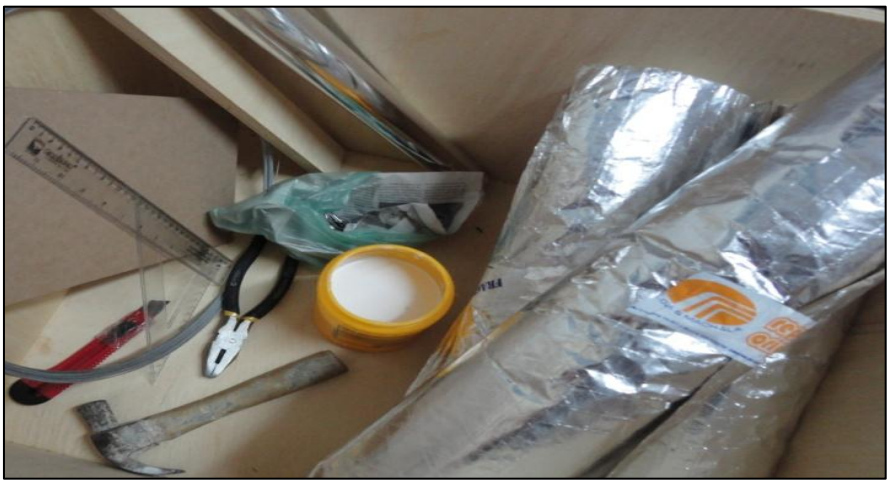


Figura 29. Materiales que utilizaremos.

e.1.2.3.3 **Características que presenta este modelo.**

Entre las características principales que presenta este prototipo de cocina solar, es que por tratarse de un prototipo nuevo, se conforma de la combinación de las mejores cualidades de las cocinas ya citadas, tratando de cumplir con todas y cada una de las expectativas y objetivos propuestos al inicio del proyecto y así presentar un modelo que permita a los estudiantes, como a las personas interesadas en el tema realizar investigaciones futuras.

También se busca consolidar el prototipo como una cocina de fácil construcción, liviana, económica, pero por sobre todo mejorar la eficiencia funcional; lo que permitirá conocer y explotar sus cualidades para satisfacer necesidades energéticas.

Como modelo matriz para este proyecto se tomó la cocina Parvati por las diferentes ventajas que presentaba, especialmente sus 24 paneles; es por esto, que a este modelo trataremos de convertirlo en tipo caja. Para ello necesitaremos hacer 2 cocinas Parvati, la primera tendrá las mismas dimensiones de su original y la segunda tendrá que ser de mayor dimensión, para lograr ubicar el aislante (lana de vidrio) con un espesor de 4 cm, espesor recomendado para la cocina tipo caja.

Por lo demás, tendrá un soporte para poderla trasladar y orientar de forma más cómoda, como se le implementó a su original, también poseerá una base para adecuar el recipiente colector hasta encontrar el punto focal.

- **Material y accesorios adicionales:**
    - Tubo cuadrado (hierro) de 1" x 0,08 cm.
    - Platina de 3/4".
    - Tubo redondo de Ɵext= 1" de acero inoxidable.
    - 1 plancha de acero inoxidable brillante de 0,2 cm.
    - 2 pernos con arandela y tuerca de 1/4" x 2".
    - 24 pernos con arandela y tuerca de 1/4" x 2 ½".
    - 4 pernos con arandela y tuerca de 5/16" x 2" de acero inoxidable.
    - 1 perno 5/16" x 2".
    - 2 espray de color negro mate.
    - ¼ de pintura color azul turquesa.

- 2 manijas plásticas.
- Un recipiente de aluminio para 1 litro.

e.1.2.3.4 **Construcción de prototipo.**

El diseño de esta cocina se basa en hacer 2 cocinas Parvati con el mismo procedimiento ya anteriormente detallado; la primera tendrá las mismas medidas de origen, pero el material a utilizar será acero inoxidable brillante y en la segunda tendrá diferentes medidas (**Figura 28**), pero conservando el mismo material (MDF).

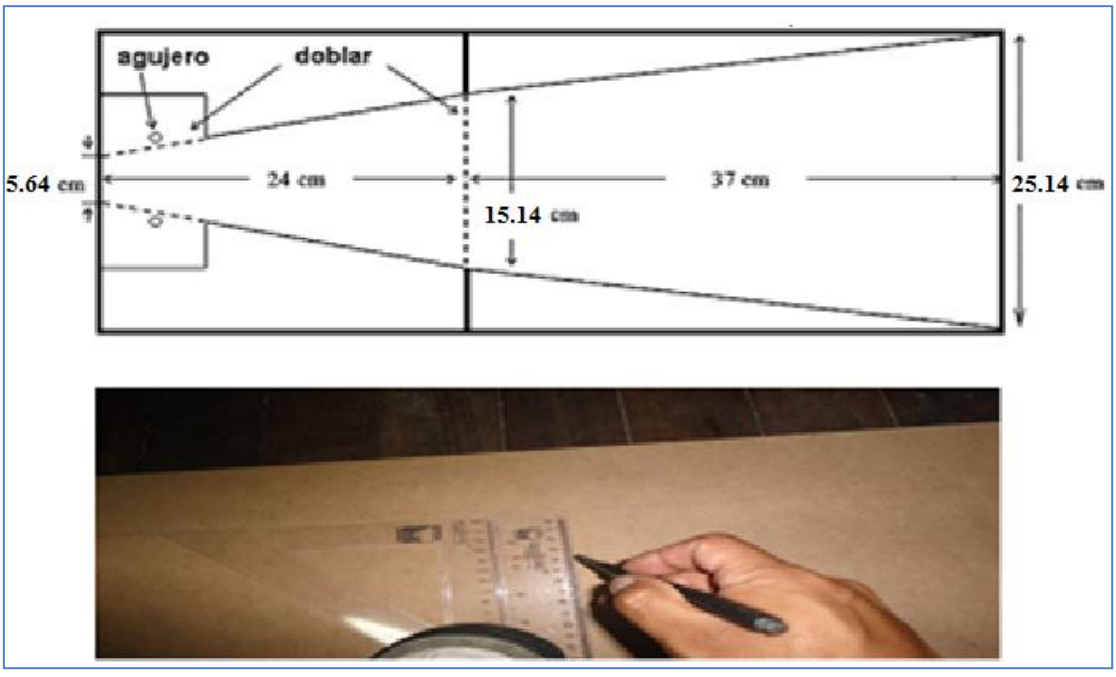


Figura 30. Nuevas medidas para el trazado y cortado de los paneles.

Una vez concluido el proceso de construcción de las dos cocinas Parvatis con diferentes características, tendremos algo como esto:

Figura 31. Modelo de las dos cocinas Parvati.

Nota: Para la unión de las doce partes de la primera cocina Parvati, se la hiso con suelda de punto porque el material utilizado para la confección de la misma era acero inoxidable, quedando a criterio la utilización de cualquier otro tipo de soldadura y materiales. Se utilizó este material por su reflectibilidad.

Con las dos cocinas, se procede a seguir los siguientes pasos a continuación detallados:

1. Se corta la lana de vidrio de acuerdo a las medidas de la cocina interior.

Figura 32. Medida y cortada de lana de vidrio.

2. Se coloca y sella la lana de vidrio a la cocina interior.

Figura 33. Cocina Parvati interna con lana de vidrio.

3. Concluido el procedimiento anterior se procede a cortar, doblar y colocar la platina en la cocina exterior.

Figura 34. Doblado y ensamblaje de platina.

4. Para mayor seguridad en el momento que se realice la reposición de la cocina, se optó por empernar cada uno de los paneles a la platina exterior y proceder a soldarla.

Figura 35. Empernado y soldada de paneles.

5. Se construye el soporte en el cual irá sostenida y girará la cocina, tomando en cuenta las distancias reales que posee ahora la cocina.

Figura 36. Soporte de cocina combinada.

6. Se corta, dobla y suelda la base donde irá sostenido el recipiente que contendrá la masa de prueba.

Figura 37. Base y recipiente para realizar pruebas.

7. Se pinta y acopla todas las partes que conformarán la cocina combinada.

Figura 38. Pintada y armada de cocina combinada.

8. Finalmente se mide y corta el vidrio que cubrirá a la cocina combinada (Parvati – tipo caja).

Figura 39. Vidrio que cubrirá a la cocina solar combinada.

e.1.2.4 **Determinación de los parámetros de diseño de la cocina solar (Parvati – tipo caja).**

e.1.2.4.1 **Modelo matemático propuesto, sobre el proceso de transferencia de calor en la cocina solar combinada.**

El flujo de calor desde el recipiente que contiene la masa de prueba hacia el exterior de la cocina (Parvati – tipo caja), considerando medios de radiación, convectivos y conductivos es el siguiente:

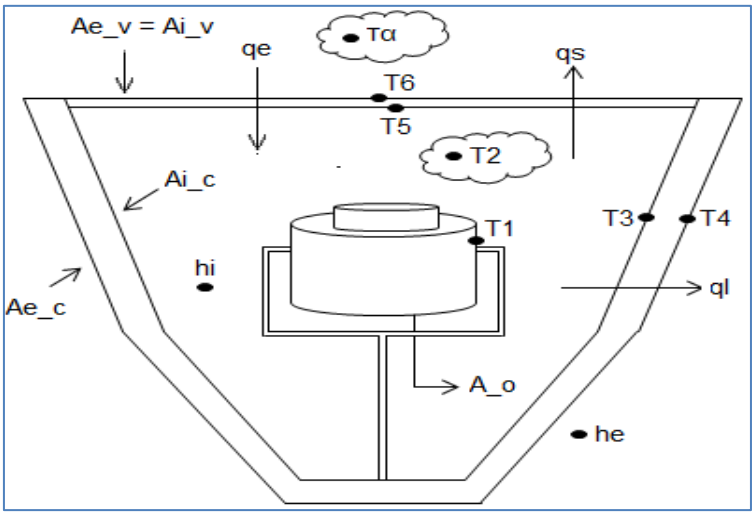


Figura 40. Flujo de calor desde el recipiente, hacia el exterior de la cocina.

$$Ee - Es = \Delta Esistema \qquad \textbf{(Ecuación 15)}$$

$$qe - (q\ superior + q\ lado) = m \cdot cp \cdot \Delta T \qquad \textbf{(Ecuación 16)}$$

- **Transferencia de calor por conducción:**

$$q_{cond} = \frac{k \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{l} \qquad \textbf{(Ecuación 17)}$$

$$R_{cond} = \frac{l}{k \cdot A} \qquad \textbf{(Ecuación 18)}$$

$$q_{cond} = \frac{T_1 - T_2}{R_{cond}} \qquad \textbf{(Ecuación 19)}$$

- **Transferencia de calor por convección:**

$$q_{conv} = h \cdot A_s \cdot (T_s \cdot T_\alpha) \qquad \textbf{(Ecuación 20)}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h \cdot A_s} \qquad \textbf{(Ecuación 21)}$$

$$q_{conv} = \frac{T_s - T_\alpha}{R_{conv}} \qquad \textbf{(Ecuación 22)}$$

- **Transferencia de calor por radiación:**

$$q_{rad} = \varepsilon \cdot \delta \cdot A \cdot ({T_s}^4 - {T_{alr}}^4) \qquad \textbf{(Ecuación 23)}$$

$$q_{rad} = h_{rad} \cdot A \cdot (T_s - T_{alr}) \Rightarrow \left[\frac{(T_s - T_{alr})}{R_{rad}}\right] \qquad \textbf{(Ecuación 24)}$$

$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad} \cdot A_s} \qquad \textbf{(Ecuación 25)}$$

$$h_{rad} = \frac{q_{rad}}{A \cdot (T_s - T_{alr})} = \varepsilon \cdot \delta \cdot ({T_s}^2 + {T_{alr}}^2) \cdot (T_s - T_{alr}) \qquad \textbf{(Ecuación 26)}$$

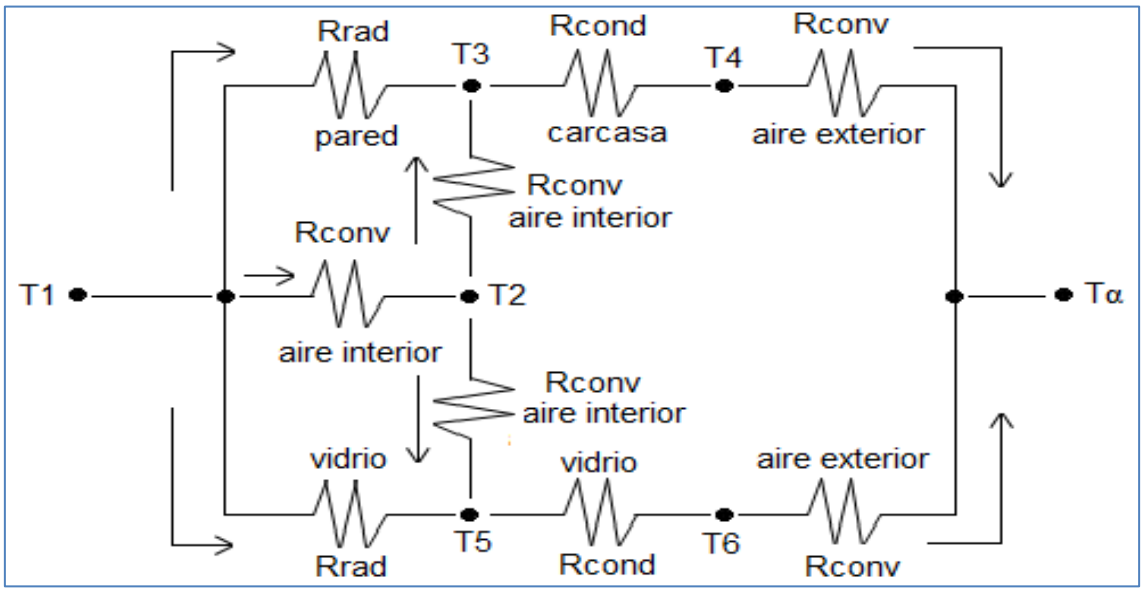


Figura 41. Circuito simplificado del flujo de calor, considerando la radiación, convección y conducción.

Según el circuito anteriormente mostrado, los balances de energía de los componentes analizados en la cocina solar combinada son los siguientes:

a) En nodo **T3** a **Tα** (carcasa de la cocina hacia temperatura ambiente).

$$\left(\frac{T_4 - T_\alpha}{\frac{1}{h_e \cdot A_{e_c}}}\right) = \left(\frac{T_3 - T_4}{\frac{l}{k_{carcasa} \cdot A_{carcasa}}}\right) \qquad \textbf{(Ecuación 27)}$$

b) En nodo **T5** a **Tα** (cubierta de vidrio hacia temperatura ambiente).

$$\left(\frac{T_6-T_\alpha}{\frac{1}{h_e \cdot A_{e_c}}}\right)=\left(\frac{T_5-T_6}{\frac{l}{k_{vidrio} \cdot A_{vidrio}}}\right) \qquad \textbf{(Ecuación 28)}$$

c) En nodo **T1** a **T2** y de **T2** a **T3** y **T5** (aire interior de la cocina).

$$\left(\frac{T_1-T_2}{\frac{1}{h_i \cdot A_{_o}}}\right)=\left(\frac{T_2-T_3}{\frac{1}{h_i \cdot A_{i_c}}}\right)+\left(\frac{T_2-T_5}{\frac{1}{h_i \cdot A_{i_v}}}\right) \qquad \textbf{(Ecuación 29)}$$

d) En nodo **T1** a **T3** y de **T3** a **T2** y **T4** (radiación, convección y conducción).

$$\left(\frac{T_1-T_3}{\frac{1}{h_{rad} \cdot A_{_o}}}\right)+\left(\frac{T_2-T_3}{\frac{1}{h_i \cdot A_{i_c}}}\right)=\left(\frac{T_3-T_4}{\frac{l}{k_{carcasa} \cdot A_{carcasa}}}\right) \qquad \textbf{(Ecuación 30)}$$

El análisis de flujo de calor de la cocina se considera estacionario y por ende a través de todos los medios de transferencia tiene que ser el mismo. El calor transmitido puede expresarse para cada sección y como es el mismo para todas las secciones se puede poner; tal como las ecuaciones anteriores.

En el caso del medio conductivo la ecuación que se muestra a continuación, representa el flujo de calor a través de la carcasa de la cocina, en otros términos es igual a:

$$\left(\frac{T_3-T_4}{\frac{l}{k_{carcasa} \cdot A_{carcasa}}}\right) \qquad \textbf{(Ecuación 31)}$$

$$\left(\frac{T_3-T_{3'}}{\frac{l_{c1}}{k_{c1} \cdot A}}\right)=\left(\frac{T_{3'}-T_{3''}}{\frac{l_{c2}}{k_{c2} \cdot A}}\right)=\left(\frac{T_{3''}-T_4}{\frac{l_{c3}}{k_{c3} \cdot A}}\right) \qquad \textbf{(Ecuación 32)}$$

Donde:

l_{c1}= espesor de la placa interior de la cocina de acero inoxidable.

k_{c1}= coeficiente de conducción térmica para el acero inoxidable.

l_{c2}= espesor del aislante de la carcasa (lana de vidrio).

k_{c2}= coeficiente de conducción térmica para la lana de vidrio.

l_{c3}= espesor de la placa exterior de la cocina de mdf.

k_{c3}= coeficiente de conducción térmica para el mdf.

A= área de transferencia de calor.

En **ANEXO 7**, se integra la información respectiva sobre las variables del modelo antes formulado, tal como son: Coeficiente convectivo del aire a diferentes condiciones, constantes de transferencia de calor de los materiales constructivos, entre otros.

e.1.3 **Recurso solar en la zona localizada del cantón Catamayo.**

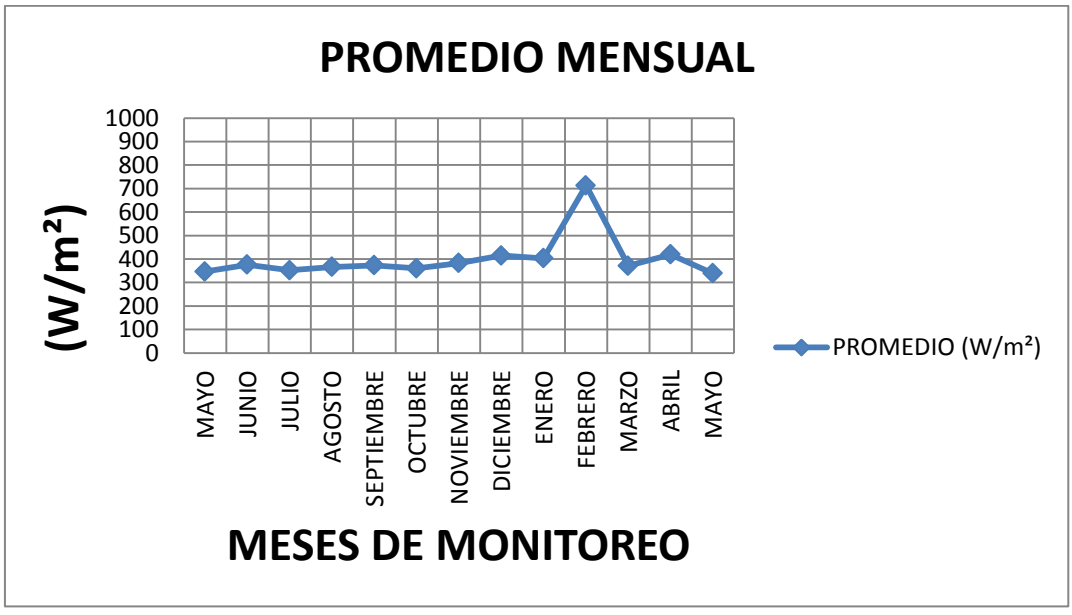
La medición del recurso solar en el cantón Catamayo, se realizó con el medidor de radiación Mac-Solar, instrumento que cuenta con sensor integrado, con capacidad de memoria de 64 Kb y memoria interna que puede transmitirse con ayuda del software a la interfaz de serie de un PC. Obteniendo los siguientes. Resultados.

Los promedios diarios de la radiación solar podemos apreciarlos más claramente en **ANEXOS 3.**

Tabla 2. Promedio de radiación mensual.

Mes	Promedio $\frac{W}{m^2}$
MAYO	346,38
JUNIO	376,12
JULIO	351,82
AGOSTO	365,99
SEPTIEMBRE	372,97
OCTUBRE	360,30
NOVIEMBRE	382,51
DICIEMBRE	414,66
ENERO	403,15
FEBRERO	712,91
MARZO	370,73
ABRIL	419,51
MAYO	339,06

En la gráfica que se presenta a continuación, se ubica el valor de radiación promedio en el eje de las (Y) y el mes que se realizó el monitoreo en el eje de las (X).



Gráfica 1. Compendio de promedios mensuales.

e.1.4 **Métodos para el proceso de comparación entre las cocinas solares.**

Para el valor comparativo entre las tres cocinas solares en el sector de Catamayo, se aplicó el proceso de cálculo para el análisis experimental de eficiencia y rendimiento mencionado en el marco teórico, contándose así con los debidos sensores de temperatura (Termo-cupla) y de radiación solar (piranómetro).

e.1.5 **Valor comparativo entre las cocinas solares.**

Para el monitoreo de las cocinas y realizar las mediciones correspondientes, se tomó parcialmente en consideración la Norma Americana (Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos) NORMA ASAE S580 (ASAE, 2003), la cual monitorea la temperatura media dentro de un recipiente que contiene la masa de prueba, mientras que la cocina opera bajo un conjunto de directrices indicadas en la norma tales como:

- Las pruebas se llevaron a cabo cuando el viento es inferior a 1,0 m/s. En caso de viento superior a 2,5 m/s por más de diez minutos, se descartó los datos de prueba.
- La masa del agua o sustancia debe ser la misma en las tres cocinas.
- El tiempo de la toma de datos fue cada 5 minutos.
- La temperatura ambiente debe oscilar entre los 20 y 35°C.
- La temperatura del agua en los recipientes debe estar 5°C más alto que la temperatura ambiente y 5°C menos de la temperatura de ebullición.

- Las pruebas no se realizaron cuando las lecturas de radiación, estuvieron por debajo de 450 W/m^2 o por encima de 1100 W/m^2.
- El horario de medición fue entre 10:00 a 14:00 horas.
- En condiciones de fuerte viento, insolación baja, temperatura ambiente baja, las pruebas no se llevaron a cabo.

Es importante destacar que si bien la norma ASAE recomienda la recolección de datos con un intervalo de 10 minutos, se acoge como frecuencia de monitoreo 5 min, la cual es recomendada por la Guía Didáctica de Energía Solar del Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. 2007 y el protocolo de ensayos para la evaluación de cocinas solares elaborado por la Red Iberoamericana de Energía Solar RICSA.

f.- RESULTADOS

f.1 Sistematización de los diferentes prototipos de cocinas solares.

f.1.1 Monitoreo de las tres cocinas solares.

Tabla 3. Primer día de monitoreo de las tres cocinas solares.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

HOJA DE DATOS DE MONITOREO PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE EQUIPOS SOLAR-TÉRMICOS

Nombre del proyecto: *"Diseño, construcción y análisis funcional-experimental de una cocina solar combinada (parvati – tipo caja) para el Laboratorio de Energías Renovables de la CIEM – UNL".*

Responsables: *Egdo. César Uyaguari Carrión.* **Director:** *Ing. Msc. Thuesman Montaño Peralta.*

Sector: *Catamayo - Loja - Ecuador* **Fecha:** 12 *de Noviembre del 2013.*

Observaciones: Primer día de Monitoreo

Datos generales del sector					Datos base del monitoreo				Período de monitoreo (hh/min)	
Altitud	Presión barométrica		Temperatura promedio		Temp. inicio		Temp final		Inicio	Fin
msnm	*KPa*	*Bar*	*ºC*	*ºK*	*ºC*	*ºK*	*ºC*	*ºK*	*10:00*	*14:00*
1200	*87*	*0,870*	28	301	*33*	*306*	90	363	Frecuencia de muestra (min):	*5*
									Masa o volumen de prueba:	1 litro

Observaciones: Se monitorea tres equipos simultaneamente (Parvati, Caja, Combinada)

N.-	Hh/min	Rad_i	Temp_i						Observaciones
			Parvati		Caja		Combinada		
		watts/m2	*°C*	*°K*	*°C*	*°K*	*°C*	*°K*	
0	10:15	667	**33,00**	306,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Inicio de monitoreo de cocina Parvati
1	10:20	672	35,30	308,30	0,00	0,00	**33,90**	306,90	Inicio de monitoreo de cocina Combinada
2	10:25	681	36,90	309,90	**32,80**	305,80	35,90	308,90	Inicio de monitoreo de cocina de Caja
3	10:30	700	39,40	312,40	34,00	307,00	38,30	311,30	
4	10:35	728	41,60	314,60	35,50	308,50	40,60	313,60	
5	10:40	740	43,50	316,50	37,30	310,30	43,10	316,10	
6	10:45	779	44,30	317,30	38,40	311,40	45,50	318,50	
7	10:50	821	45,10	318,10	38,60	311,60	48,40	321,40	
8	10:55	833	46,70	319,70	38,90	311,90	51,60	324,60	
9	11:00	862	47,20	320,20	39,10	312,10	58,20	331,20	
10	11:05	869	48,60	321,60	39,50	312,50	65,10	338,10	
11	11:10	885	49,50	322,50	40,10	313,10	69,30	342,30	
12	11:15	904	50,40	323,40	40,60	313,60	72,10	345,10	
13	11:20	922	51,50	324,50	40,90	313,90	75,30	348,30	
14	11:25	931	52,80	325,80	41,40	314,40	76,80	349,80	
15	11:30	953	53,10	326,10	41,90	314,90	79,10	352,10	
16	11:35	961	54,70	327,70	42,20	315,20	80,60	353,60	
17	11:40	968	55,80	328,80	43,70	316,70	82,90	355,90	
18	11:45	985	57,10	330,10	45,40	318,40	84,90	357,90	
19	11:50	993	59,20	332,20	46,70	319,70	86,40	359,40	
20	11:55	998	60,30	333,30	48,80	321,80	**89,90**	362,90	Fin de monitoreo en cocina Combinada
21	12:00	1014	61,40	334,40	50,70	323,70	93,10	366,10	
22	12:05	1021	63,20	336,20	52,40	325,40	95,10	368,10	
23	12:10	1030	65,40	338,40	53,80	326,80	96,40	369,40	
24	12:15	1030	67,70	340,70	54,70	327,70	98,10	371,10	
25	12:20	1037	69,30	342,30	55,90	328,90	**98,90**	371,90	Máximo de temperatura en la cocina Combinada
26	12:25	1049	71,20	344,20	57,80	330,80	97,80	370,80	
27	12:30	1047	72,90	345,90	59,60	332,60	96,20	369,20	
28	12:35	1053	74,10	347,10	61,20	334,20	95,10	368,10	
29	12:40	1065	75,40	348,40	62,30	335,30	95,40	368,40	
30	12:45	1095	76,50	349,50	63,50	336,50	96,20	369,20	
31	12:50	1087	77,40	350,40	64,60	337,60	96,40	369,40	
32	12:55	1079	78,90	351,90	66,10	339,10	96,50	369,50	
33	13:00	1077	81,10	354,10	67,40	340,40	96,60	369,60	
34	13:05	1063	81,60	354,60	68,60	341,60	96,50	369,50	
35	13:10	1053	81,40	354,40	69,60	342,60	96,60	369,60	
36	13:15	1056	81,90	354,90	71,00	344,00	96,40	369,40	
37	13:20	1067	82,70	355,70	72,10	345,10	96,40	369,40	
38	13:25	1054	83,10	356,10	72,80	345,80	96,50	369,50	
39	13:30	1047	83,30	356,30	73,90	346,90	96,70	369,70	
40	13:35	1039	**83,40**	356,40	74,60	347,60	96,90	369,90	Máximo de temperatura en la cocina Parvati
41	13:40	1029	82,50	355,50	75,40	348,40	96,50	369,50	
42	13:45	1015	81,60	354,60	76,30	349,30	96,60	369,60	
43	13:50	993	81,60	354,60	76,90	349,90	96,40	369,40	
44	13:55	962	79,70	352,70	77,90	350,90	96,30	369,30	
45	14:00	952	78,70	351,70	78,40	351,40	96,20	369,20	
46	14:05	930	79,10	352,10	**79,00**	352,00	96,10	369,10	Máximo de temperatura en la cocina de Caja

Tabla 4. Segundo día de monitoreo de las tres cocinas solares.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

HOJA DE DATOS DE MONITOREO PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE EQUIPOS SOLAR-TÉRMICOS

Nombre del proyecto: "Diseño, construcción y análisis funcional-experimental de una cocina solar combinada (parvati – tipo caja) para el Laboratorio de Energías Renovables de la CIEM – UNL".

Responsables: Egdo. César Uyaguari Carrión. **Director:** Ing. Msc. Thuesman Montaño Peralta.

Sector: Catamayo - Loja - Ecuador **Fecha:** 19 de Noviembre del 2013.

Observaciones: Segundo día de Monitoreo

Período de monitoreo (hh/min)	
Inicio	Fin
10:00	14:00
Frecuencia de muestra (min):	5
Masa o volumen de prueba:	1 litro

Datos generales del sector					Datos base del monitoreo			
Altitud	Presión barométrica		Temperatura promedio		Temp. inicio		Temp final	
msnm	KPa	Bar	ºC	ºK	ºC	ºK	ºC	ºK
1200	87	0,870	28	301	33	306	90	363

Observaciones: Se monitorea tres equipos simultaneamente (Parvati, Caja, Combinada)

N.-	Hh/min	Rad_i	Temp_i						Observaciones
			Parvati		Caja		Combinada		
		watts/m2	°C	°K	°C	°K	°C	°K	
0	10:15	922	**33,70**	306,70	0,00	273,00	**33,00**	306,00	Inicio de monitoreo de cocina Parvati y Combinada
1	10:20	932	35,90	308,90	0,00	273,00	34,20	307,20	
2	10:25	940	36,70	309,70	0,00	273,00	37,20	310,20	
3	10:30	955	39,50	312,50	0,00	273,00	40,20	313,20	
4	10:35	987	42,50	315,50	**32,20**	305,20	44,00	317,00	Inicio de monitoreo de cocina de Caja
5	10:40	1070	46,10	319,10	34,40	307,40	48,90	321,90	
6	10:45	1072	49,50	322,50	36,40	309,40	53,60	326,60	
7	10:50	823	50,70	323,70	37,90	310,90	56,60	329,60	
8	10:55	831	53,30	326,30	39,00	312,00	59,30	332,30	
9	11:00	1054	55,60	328,60	40,40	313,40	62,80	335,80	
10	11:05	998	57,80	330,80	41,90	314,90	66,60	339,60	
11	11:10	996	59,50	332,50	44,10	317,10	70,10	343,10	
12	11:15	1005	60,60	333,60	45,60	318,60	72,70	345,70	
13	11:20	1011	61,90	334,90	47,10	320,10	75,00	348,00	
14	11:25	1021	63,20	336,20	49,00	322,00	77,40	350,40	
15	11:30	1026	63,70	336,70	51,00	324,00	79,50	352,50	
16	11:35	1029	64,40	337,40	53,30	326,30	81,80	354,80	
17	11:40	1035	64,90	337,90	55,20	328,20	83,30	356,30	
18	11:45	1034	65,50	338,50	57,50	330,50	86,00	359,00	
19	11:50	1035	66,40	339,40	58,80	331,80	86,60	359,60	
20	11:55	1031	68,50	341,50	60,70	333,70	88,30	361,30	
21	12:00	1030	70,40	343,40	62,40	335,40	**90,50**	363,50	Fin de monitoreo en cocina Combinada
22	12:05	1025	72,20	345,20	64,10	337,10	91,90	364,90	
23	12:10	1020	74,20	347,20	66,70	339,70	94,50	367,50	
24	12:15	1013	75,20	348,20	68,00	341,00	94,90	367,90	
25	12:20	1015	75,90	348,90	68,70	341,70	**95,10**	368,10	Máximo de temperatura en la cocina Combinada
26	12:25	1009	76,70	349,70	69,90	342,90	95,10	368,10	
27	12:30	996	76,80	349,80	71,70	344,70	95,10	368,10	
28	12:35	990	77,20	350,20	72,70	345,70	95,00	368,00	
29	12:40	982	77,10	350,10	74,10	347,10	94,90	367,90	
30	12:45	976	76,90	349,90	75,30	348,30	95,00	368,00	
31	12:50	964	76,50	349,50	76,00	349,00	94,90	367,90	
32	12:55	770	76,10	349,10	77,00	350,00	95,00	368,00	
33	13:00	952	75,60	348,60	77,80	350,80	94,60	367,60	
34	13:05	938	76,40	349,40	78,30	351,30	94,90	367,90	
35	13:10	931	76,70	349,70	79,00	352,00	94,80	367,80	
36	13:15	908	77,10	350,10	79,60	352,60	94,70	367,70	
37	13:20	898	76,90	349,90	80,60	353,60	94,80	367,80	
38	13:25	875	77,70	350,70	80,60	353,60	94,70	367,70	
39	13:30	857	77,40	350,40	81,20	354,20	94,80	367,80	
40	13:35	848	77,60	350,60	81,70	354,70	94,80	367,80	
41	13:40	836	78,10	351,10	81,80	354,80	95,00	368,00	
42	13:45	822	**78,30**	351,30	82,00	355,00	95,00	368,00	Máximo de temperatura en la cocina Parvati
43	13:50	803	78,30	351,30	82,40	355,40	94,80	367,80	
44	13:55	782	78,30	351,30	82,50	355,50	94,90	367,90	
45	14:00	765	77,80	350,80	**82,80**	355,80	95,00	368,00	Máximo de temperatura en la cocina Caja
46	14:05	744	78,20	351,20	82,70	355,70	94,90	367,90	

Tabla 5. Tercer día de monitoreo de las tres cocinas solares.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

HOJA DE DATOS DE MONITOREO PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE EQUIPOS SOLAR-TÉRMICOS

Nombre del proyecto: "Diseño, construcción y análisis funcional-experimental de una cocina solar combinada (parvati – tipo caja) para el Laboratorio de Energías Renovables de la CIEM – UNL".

Responsables: Egdo. César Uyaguari Carrión. **Director:** Ing. Msc. Thuesman Montaño Peralta.

Sector: Catamayo - Loja - Ecuador **Fecha:** 26 de Noviembre del 2013.

Observaciones: Tercer día de Monitoreo

Período de monitoreo (hh/min)	
Inicio	Fin
10:00	14:00
Frecuencia de muestra (min):	5
Masa o volumen de prueba:	1 litro

Datos generales del sector					Datos base del monitoreo			
Altitud	Presión barométrica		Temperatura promedio		Temp. inicio		Temp final	
msnm	KPa	Bar	ºC	ºK	ºC	ºK	ºC	ºK
1200	87	0,870	28	301	33	306	90	363

Observaciones: Se monitorea tres equipos simultaneamente (Parvati, Caja, Combinada)

N.-	Hh/min	Rad_i	Temp_i						Observaciones
			Parvati		Caja		Combinada		
		watts/m2	°C	°K	°C	°K	°C	°K	
0	10:15	1051	**32,90**	305,90	0,00	273,00	**33,90**	306,90	Inicio de monitoreo de cocina Parvati y Combinada
1	10:20	1060	35,10	308,10	**33,20**	306,20	36,70	309,70	Inicio de monitoreo de cocina de Caja
2	10:25	1070	37,90	310,90	34,20	307,20	40,30	313,30	
3	10:30	1082	41,80	314,80	35,90	308,90	45,20	318,20	
4	10:35	1093	45,40	318,40	37,30	310,30	49,70	322,70	
5	10:40	1083	48,70	321,70	38,90	311,90	53,50	326,50	
6	10:45	1082	51,40	324,40	40,40	313,40	56,80	329,80	
7	10:50	1077	54,20	327,20	42,10	315,10	60,40	333,40	
8	10:55	1074	57,00	330,00	43,90	316,90	63,80	336,80	
9	11:00	1072	59,40	332,40	45,50	318,50	66,90	339,90	
10	11:05	1078	61,50	334,50	47,30	320,30	69,90	342,90	
11	11:10	1083	63,70	336,70	49,00	322,00	72,60	345,60	
12	11:15	1078	65,50	338,50	50,80	323,80	75,50	348,50	
13	11:20	1065	66,90	339,90	52,50	325,50	78,10	351,10	
14	11:25	1052	68,10	341,10	53,90	326,90	80,50	353,50	
15	11:30	1031	69,00	342,00	55,30	328,30	82,80	355,80	
16	11:35	1007	69,70	342,70	56,90	329,90	84,80	357,80	
17	11:40	1004	70,00	343,00	58,40	331,40	86,60	359,60	
18	11:45	1025	71,60	344,60	59,90	332,90	88,50	361,50	
19	11:50	1039	73,90	346,90	60,90	333,90	**91,00**	364,00	Fin de monitoreo en cocina Combinada
20	11:55	1027	75,40	348,40	62,00	335,00	92,90	365,90	
21	12:00	688	76,50	349,50	63,80	336,80	94,80	367,80	
22	12:05	1023	76,70	349,70	64,60	337,60	95,20	368,20	
23	12:10	948	77,70	350,70	65,60	338,60	95,40	368,40	
24	12:15	922	79,40	352,40	66,60	339,60	**95,50**	368,50	Máximo de temperatura en la cocina Combinada
25	12:20	903	80,80	353,80	67,60	340,60	95,50	368,50	
26	12:25	896	81,20	354,20	68,30	341,30	95,40	368,40	
27	12:30	841	81,60	354,60	69,80	342,80	95,50	368,50	
28	12:35	854	**82,00**	355,00	70,50	343,50	95,50	368,50	Máximo de temperatura en la cocina Parvati
29	12:40	639	80,30	353,30	71,20	344,20	94,90	367,90	
30	12:45	807	80,00	353,00	71,70	344,70	95,10	368,10	
31	12:50	757	80,30	353,30	72,20	345,20	95,30	368,30	
32	12:55	744	80,60	353,60	73,60	346,60	95,30	368,30	
33	13:00	750	80,40	353,40	74,40	347,40	95,30	368,30	
34	13:05	752	79,90	352,90	75,10	348,10	95,20	368,20	
35	13:10	760	79,60	352,60	76,30	349,30	95,10	368,10	
36	13:15	759	78,10	351,10	77,40	350,40	95,20	368,20	
37	13:20	740	78,00	351,00	79,00	352,00	95,00	368,00	
38	13:25	732	78,10	351,10	80,60	353,60	95,10	368,10	
39	13:30	723	77,80	350,80	82,80	355,80	94,90	367,90	
40	13:35	712	77,90	350,90	82,90	355,90	94,90	367,90	
41	13:40	696	77,20	350,20	83,00	356,00	95,00	368,00	
42	13:45	675	77,00	350,00	83,10	356,10	95,00	368,00	
43	13:50	653	76,40	349,40	83,30	356,30	95,00	368,00	
44	13:55	625	75,40	348,40	**83,50**	356,50	95,00	368,00	Máximo de temperatura en la cocina Caja
45	14:00	603	74,50	347,50	83,40	356,40	94,90	367,90	
46	14:05	583	73,10	346,10	83,20	356,20	94,70	367,70	

f.1.2 **Cálculo del rendimiento de las tres cocinas solares.**

f.1.2.1 **Análisis funcional.**

Del monitoreo de los tipos de cocina que intervienen en el presente estudio comparativo, se plantea y realiza el siguiente análisis de valores característicos y eficiencia.

- Se grafican separadamente dos gráficas, la primera muestra la variación de la temperatura respecto al número de mediciones y por su lado la segunda gráfica, detalla la radiación solar global en cada tiempo de medición.
- Se determina el valor medio de la variación de temperatura y de la radiación solar global, mediante la división del área bajo cada gráfica entre su respectivo dominio.

  En cuanto al dominio, se considera únicamente las mediciones correspondientes a los valores que cumplen con lo prescrito en la norma **ASAE S580** (anteriormente mencionada) llegando hasta el punto en donde la temperatura de la masa de prueba en cada prototipo de cocina solar alcanza su valor máximo, esto bajo la suposición de que para los siguientes puntos de medición ya no existe ganancia de temperatura ($\Delta T \approx 0$) y por ende la energía aprovechada también sería nula.

  El área bajo la curva se la determina mediante el método numérico de Simpson, ya que las gráficas obtenidas representan funciones complejas, difíciles de representar bajo un ajuste de curva o algún método de regresión, lo que también dificulta la estimación de la mencionada área por algún método de integración convencional.

  La formulación del método de Simpson es:

$$\int_a^b f(x) \cdot dx = \left(\frac{b-a}{3 \cdot n}\right) \cdot (f_0 + 4 \cdot f_1 + 2 \cdot f_2 + 4 \cdot f_3 + 2 \cdot f_4 \ldots + 2 \cdot f_{n-2} + 4 \cdot f_{n-1} + f_n) \qquad \textbf{(Ecuación 33)}$$

  El valor medio de una función se determina de la siguiente manera:

$$\hat{f} = \frac{1}{n} \int_a^b f(x) \cdot dx \qquad \textbf{(Ecuación 34)}$$

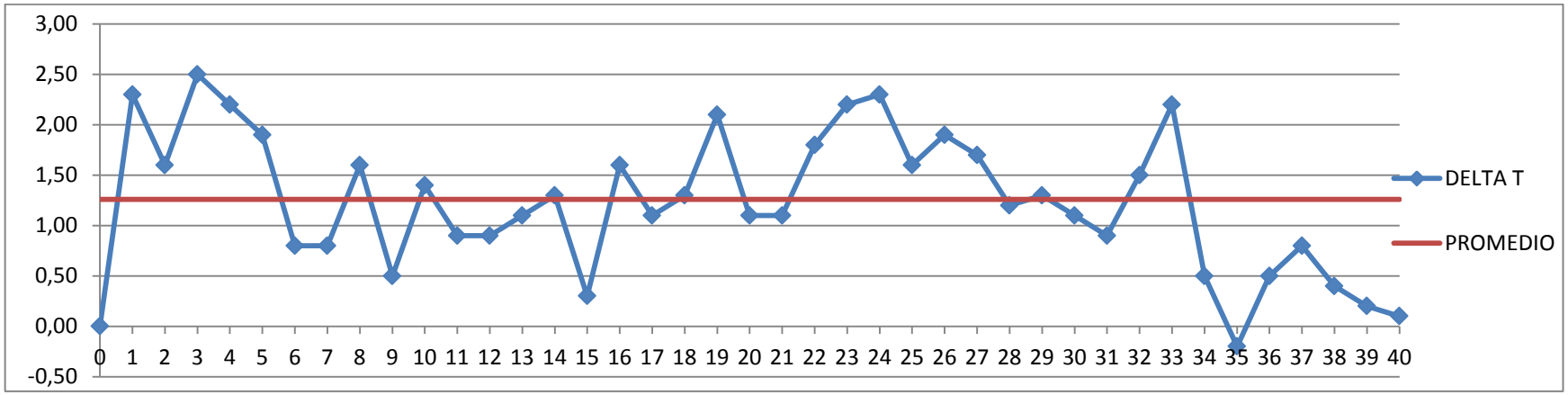
- Las variables resultantes sirven para caracterizar cada prototipo.

A continuación se presenta a manera de ejemplificación, el cálculo de las características de la cocina solar tipo Parvati obtenidas del primer día de monitoreo. Ver **ANEXOS 5**.

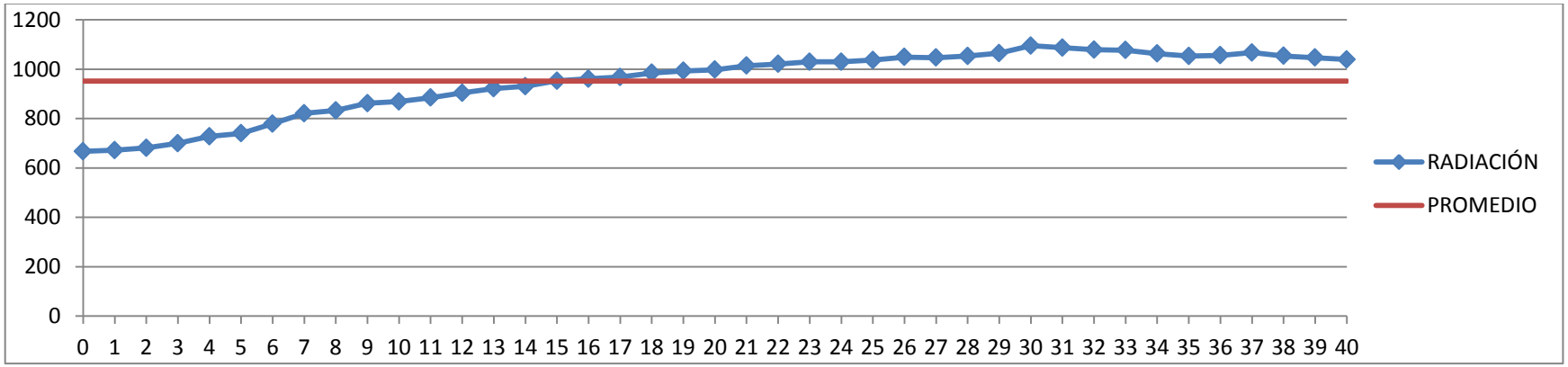
Tabla 6. Resultados de monitoreo de cocina tipo Parvati.

ITEM	*Hora*	*T*	*ΔT*	*ΔT(prom)*	*Rad_i*	*Rad_i(prom)*
		(°C)	(°C)	(°C)	(w/m^2)	(w/m^2)
0	10:15	0,00	0,00		667	
1	10:20	35,30	2,30		672	
2	10:25	36,90	1,60		681	
3	10:20	39,40	2,50		700	
4	10:30	41,60	2,20		728	
5	10:35	43,50	1,90		740	
6	10:40	44,30	0,80		779	
7	10:45	45,10	0,80		821	
8	10:50	46,70	1,60		833	
9	10:55	47,20	0,50		862	
10	11:00	48,60	1,40		869	
11	11:05	49,50	0,90		885	
12	11:10	50,40	0,90		904	
13	11:15	51,5	1,10		922	
14	11:20	52,80	1,30		931	
15	11:25	53,10	0,30		953	
16	11:30	54,70	1,60		961	
17	11:35	55,80	1,10		968	
18	11:40	57,10	1,30		985	
19	11:45	59,20	2,10	**1,261**	993	
20	11:50	60,30	1,10		998	**951,7**
21	11:55	61,40	1,10		1014	
22	12:00	63,20	1,80		1021	
23	12:05	65,40	2,20		1030	
24	12:10	67,70	2,30		1030	
25	12:15	69,30	1,60		1037	
26	12:20	71,20	1,90		1049	
27	12:25	72,90	1,70		1047	
28	12:30	74,10	1,20		1053	
29	12:35	75,40	1,30		1065	
30	12:40	76,50	1,10		1095	
31	12:45	77,40	0,90		1087	
32	12:50	78,90	1,50		1079	
33	12:55	81,10	2,20		1077	
34	13:00	81,60	0,50		1063	
35	13:05	81,40	-0,20		1053	
36	13:10	81,90	0,50		1056	
37	13:15	82,70	0,80		1067	
38	13:20	83,10	0,40		1054	
39	13:25	83,30	0,20		1047	
40	13:30	83,40	0,10		1039	

Las gráficas 2 y 3. Muestran la variación de la temperatura y radiación solar respecto a los puntos de medición.



Gráfica 2. Variación de temperatura.



Gráfica 3. Variación de radiación.

El valor promedio de la temperatura y radiación durante el monitoreo es:

- ✓ Temperatura media:

$$\hat{f} = \frac{1}{n}\int_0^{40} f(x)\cdot dx$$

$$\hat{f} = \left(\frac{b-a}{3\cdot n^2}\right)\cdot(f_0 + 4\cdot f_1 + 2\cdot f_2 + 4\cdot f_3 + 2\cdot f_4 \ldots + 2\cdot f_{n-2} + 4\cdot f_{n-1} + f_n)$$

$$T_{(media)} = \left[\frac{40}{3\cdot(40)^2}\right]\cdot\left(\sum f_{(extremos)} + 4\cdot\sum f_{(impares)} + 2\cdot\sum f_{(pares)}\right)$$

$$\Delta T_{(media)} = \frac{(0{,}1 + 101{,}2 + 50)}{120}\,°\mathrm{C}$$

$$\Delta T_{(media)} = 1{,}26\ °\mathrm{C}$$

- ✓ Radiación media durante el monitoreo:

$$R_{(media)} = \left[\frac{40}{3\cdot(40)^2}\right]\cdot\left(\sum R_{(extremos)} + 4\cdot\sum R_{(impares)} + 2\cdot\sum R_{(pares)}\right)$$

$$R_{(media)} = \frac{(1706 + 36338 + 76160)}{120}\cdot\frac{W}{m^2}$$

$$R_{(media)} = 951{,}7\,\frac{W}{m^2}$$

De lo anterior se puede concluir lo siguiente:

- ✓ La cocina Parvati sometida a monitoreo, incrementa la temperatura de la masa de prueba (1 litro de agua) a razón de 1,26°C cada cinco minutos, cuando la radiación solar en el sector tiene un valor promedio de $951{,}7\,\frac{W}{m^2}$
- ✓ Basado en el área de la cocina y la radiación media del monitoreo, la potencia de entrada (promedio) es:

$$P_e = R_{(media)}\cdot A_{cocina_parvati}$$

$$P_e = 951{,}7\,\frac{W}{m^2}\cdot 0{,}59m^2$$

$$P_e = 561{,}5\ W$$

- ✓ Basado en el incremento medio de temperatura, la masa de prueba y el intervalo de medición, se obtiene una potencia promedio de:

$$P_o = \frac{m_{prueba} \cdot C_{p_H2O} \cdot \Delta T_{(media)}}{t}$$

$$P_o = \frac{1kg \cdot 4185.5 \frac{J}{kg \cdot ℃} \cdot 1{,}26\ ℃}{300s}$$

$$P_o = 17{,}58\ W$$

- ✓ Con las potencias de entrada y de salida, el rendimiento de la cocina es:

$$\eta_{parvati} = \frac{P_o}{P_e}$$

$$\eta_{parvati} = \frac{17{,}58\ W}{561{,}5\ W}$$

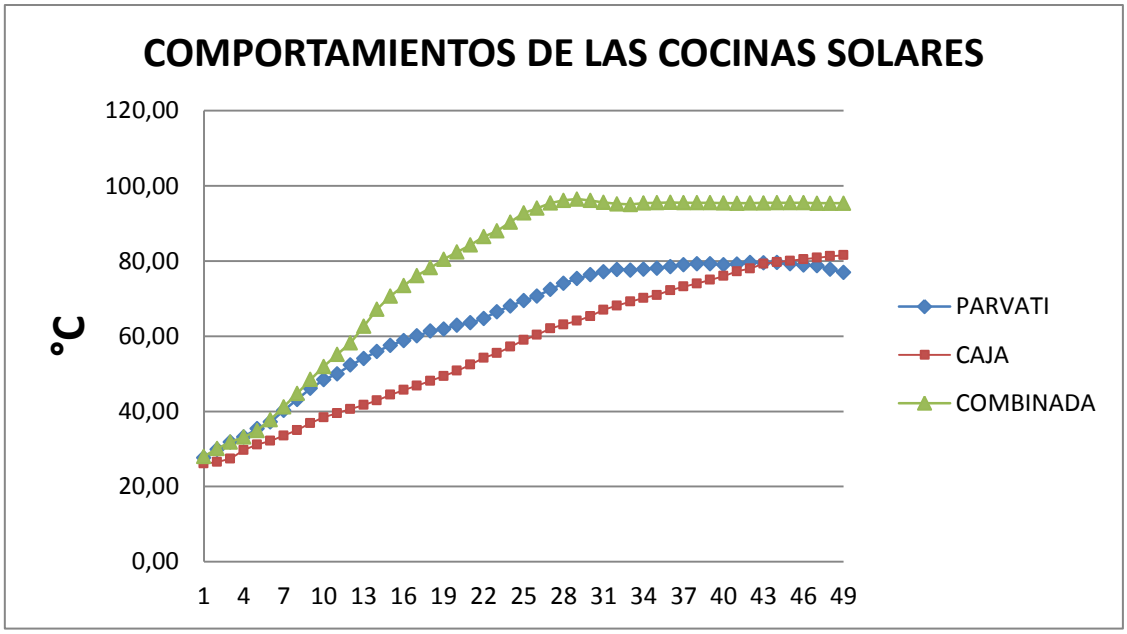
$$\eta_{parvati} = 0{,}031$$

La metodología anterior, es utilizada en todos los casos de análisis de las cocinas sometidas al proceso comparativo. Los resultados promedios obtenidos durante los 21 días de monitoreo son:

Tabla 7. Resultados finales de las cocinas monitoreadas.

Cocina	*ΔT(m) (5min)*	*Rad(m)*	Pot-entrada(m)	Pot-promedio	Rendimiento
	°C	*Watts/m2*	Watts	Watts	
Parvati	1,10	975,99	575,83	15,36	0,027
Caja	1,13	950,27	322,14	15,79	0,049
Combinada	2,86	954,43	563,11	39,81	0,071

Por otro lado del proceso inicial de monitoreo (fase de campo) se obtiene la siguiente gráfica de comportamiento de cada cocina bajo las mismas condiciones de monitoreo.



Gráfica 4. Comportamiento de cada tipo de cocina, bajo las mismas condiciones.

- ✓ La cocina combinada (Parvati-caja) alcanza la temperatura máxima aproximadamente con el doble de rapidez que los dos tipos de cocinas restantes.
- ✓ La temperatura máxima alcanzada en el interior del recipiente de la masa de prueba de la cocina combinada es de 98°C, la misma que es superior a las alcanzadas por los 2 prototipos restantes.
- ✓ Los tres prototipos mostraron en su comportamiento que, una vez alcanzada cierto valor de temperatura, esta se mantiene constante, lo que evidencia un aprovechamiento energético equivalente a cero, en estas condiciones.

g.- DISCUSIÓN

Este proyecto está enfocado en la combinación de dos tipos de cocinas, para someterlas a evaluación funcional frente al nuevo prototipo propuesto (Parvati – tipo caja), bajo las mismas condiciones de prueba.

Como se mencionó, los tres tipos de cocinas solares fueron sometidas a las mismas condiciones de monitoreo durante tres semanas, en los horarios de mayor radiación (10:00 a 14:00), y presentaron marcadas diferencias de aprovechamiento energético, destacándose el nuevo modelo, tal y como se plateó al inicio de la fase investigativa.

Es importante conocer que para empezar a realizar el análisis se obviaron algunos datos de temperatura, ya que esta debía de estar entre 33°C y 90°C, como está estipulado en la norma ASAE S580. (Ver todas las temperaturas en **ANEXO 6**).

Con respecto al funcionamiento de las cocinas, se puede observar en la (**Gráfica 4**), la diferencia existente entre la cocina combinada (Parvati – tipo caja) y los modelos individuales, en cuanto a rapidez de incremento de temperatura en la masa de prueba. Es así que para cada intervalo (5 min) de monitoreo, la cocina combinada incrementa la temperatura aproximadamente al doble de rapidez que su similar (Parvati); como podemos apreciar en las tablas anteriormente expuestas, lo que permite deducir sin entrar en mayores detalles, un aprovechamiento energético mayor y lo que es más, superando la eficiencia de las cocinas antecesoras a nuestro prototipo planteado.

h.- CONCLUSIONES

- Se logró combinar las características esenciales de la cocina Tipo caja y Parvati, en un nuevo prototipo el cual posee mejores cualidades funcionales, tales como mayor temperatura final y mayor velocidad de calentamiento.

- Los parámetros de diseño de la cocina propuesta se basaron estrictamente en aprovechar la geometría de un modelo de cocina solar tipo Parvati validado funcionalmente y el principio de acumulación de calor de la cocina tipo caja, lo que implicó concebir una cocina mixta de concentración solar y efecto invernadero contando con datos de experimentación anteriores en cuanto a cubierta y aislante lateral en cuanto a cocinas de caja se refiere.

- En el análisis del proceso comparativo de las cocinas solares, los resultados permiten evidenciar que el prototipo propuesto tiene un notable rendimiento respecto a sus antecesoras, ya que la cocina combinada tuvo un aprovechamiento de la energía solar incidente del 7,1 % frente a un 4,9 % obtenido en la tipo Caja y a un 2,7 % en la tipo Parvati, lo cual se evidencia en la velocidad de calentamiento y en la temperatura máxima final lograda.

- La cocina Combinada propuesta, construida y posteriormente evaluada, incrementa la temperatura de la masa de prueba (1 litro de agua) a razón de 2,86°C cada cinco minutos, cuando la radiación solar en el sector tiene un valor promedio de $954{,}53\,\frac{W}{m^2}$, lo que se traduce en 33,5 W de potencia estandarizada.

i.- RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuras investigaciones, evaluar el rendimiento del prototipo planteado frente a otros concentradores solares parabólicos.

- Profundizar el análisis de las características de la cocina propuesta en otras condiciones de monitoreo.

- Se debe analizar la posibilidad para futuros proyectos de utilizar para la cubierta dos vidrios y para su elaboración otra clase de materiales.

- En futuras investigaciones para aprovechar mejor la radiación solar, se recomienda implementar a la cocina propuesta un sistema de seguidor solar.

- Se recomienda incluir en los proyectos de transferencia de tecnología este nuevo tipo de cocina ya que presenta mejores rendimientos que sus antecesoras.

- Para evitar el deslumbramiento pueden usarse gafas del sol y para manipular la olla, la tapa de la olla y el soporte de la misma que se calientan mucho debido a los rayos del sol, es indispensable utilizar manoplas de cocina.

j.- BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

- **AGUSTÍN MARTÍN DOMINGO**. Apuntes de transmisión del calor. Departamento de Física e Instalaciones. Universidad Politécnica de Madrid.
- **JUAN CARLOS RAMOS GONZÁLES, RAÚL ANTÓN REMÍRES.** Cuaderno de fórmulas, tablas, figuras y problemas de transferencia de calor. Diciembre 2009, 128pag.
- **MORILLO, ETHELVINA. 1995.** Cocinando con el sol Edit., Educa. Costa Rica 93pag.

TESIS:

- **Cristian Picoita, Fabián Pacheco, 2010**, ¨EXPERIMENTACIÓN Y VALORACIÓN MATEMÁTICA DE COCINAS SOLARES TIPO CAJA¨, (Tesis de Ingeniería Electromecánica), Loja – Ecuador, Universidad Nacional de Loja, Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, Carrera Ingeniería Electromecánica, I y II..
- **Jorge Correa Martínez 2010**, "EVALUACIÓN TÉRMICA DE COCINAS SOLARES TIPO CAJA Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA EN EL CANTÓN ZAPOTILLO PARROQUIA BOLASPAMBA BARRIO CHAQUINO"; (Tesis de Ingeniería Electromecánica), Loja – Ecuador, Universidad Nacional de Loja, Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, Carrera Ingeniería Electromecánica.
- **Mirian Merchán, Franklin Picoita 2010,** ¨CONSTRUCCIÓN Y MODELACIÓN DE COCINAS SOLARES TIPO CAJA (RECTANGULARES)¨, (Tesis de Ingeniería Electromecánica), Loja – Ecuador, Universidad Nacional de Loja, Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, Carrera Ingeniería Electromecánica.

SITIOS WEB:

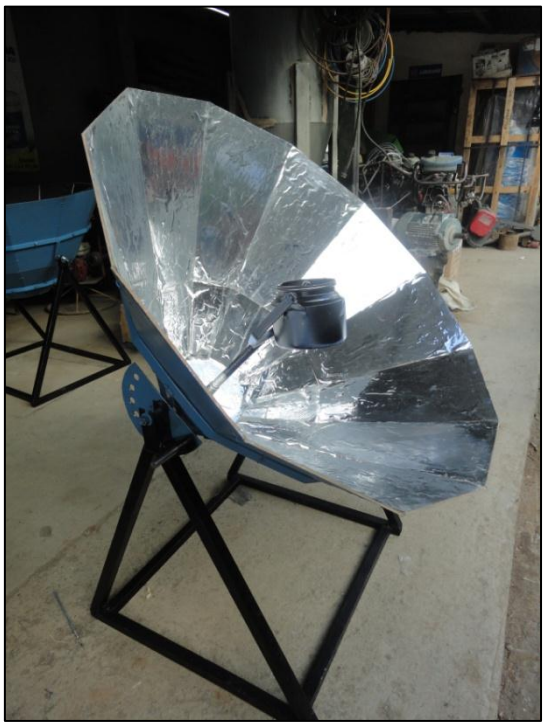
- http://cocinasolar.wordpress.com
- http://www.cocina DATS de 24 paneles probada en Shangai .html
- http://www.Integración/numérica/simpon.htm
- http://www.practiciencia.com/ar/ctierrayesp/tierra/clima/element/radiación/index
- WWW./radiación/Cómo calcular el ángulo de los reflectores de tu horno solar/Cocina Solarjj.htm [En línea].

k. ANEXOS

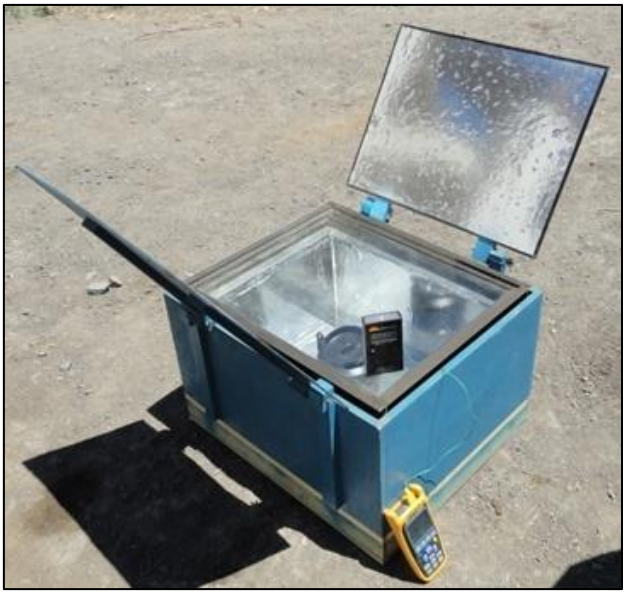
ANEXO 1

COCINAS SOLARES TERMINADAS

COCINA SOLAR PARVATI

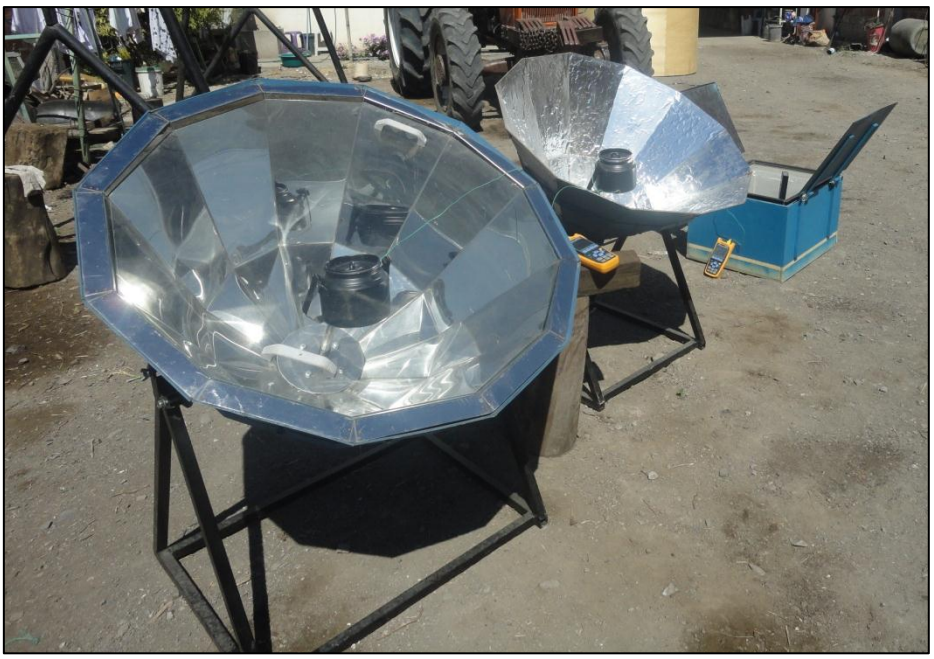


COCINA SOLAR TIPO CAJA



COCINA SOLAR COMBINADA (PARVATI – TIPO CAJA)

ETAPA DE MONITOREO



ANEXO 2

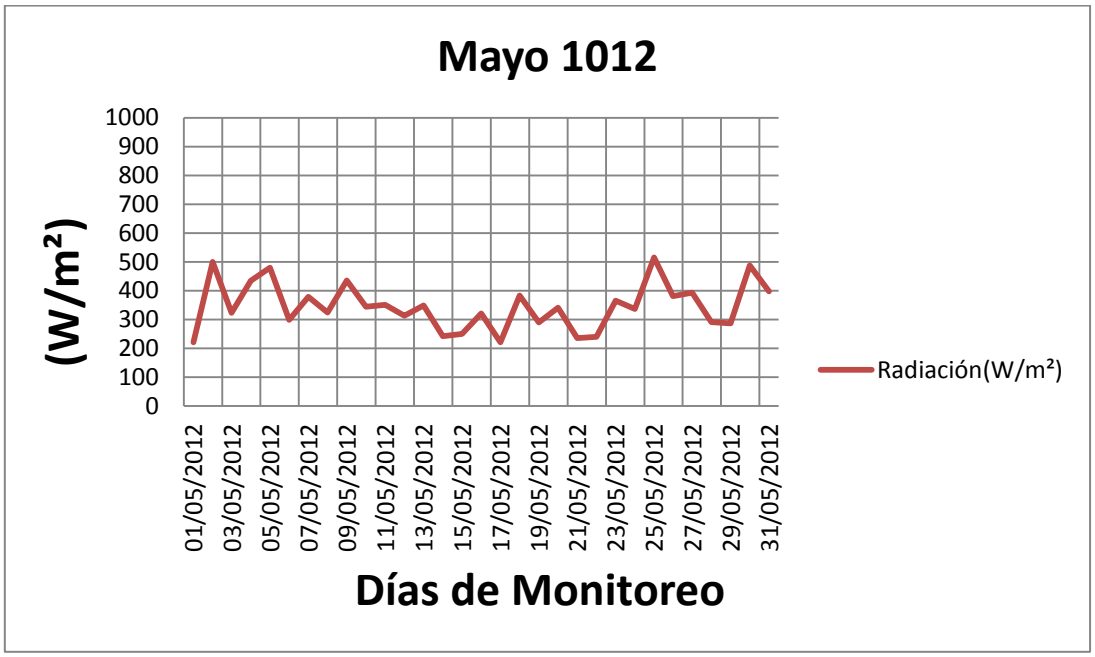
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y RADIACIÓN

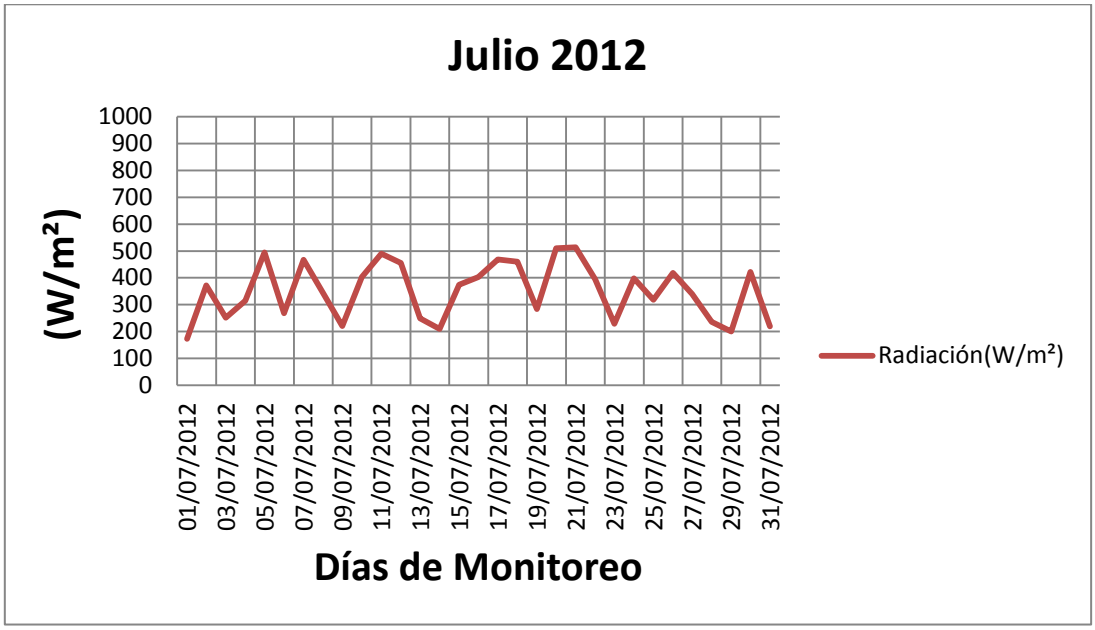
TEMPERATURA

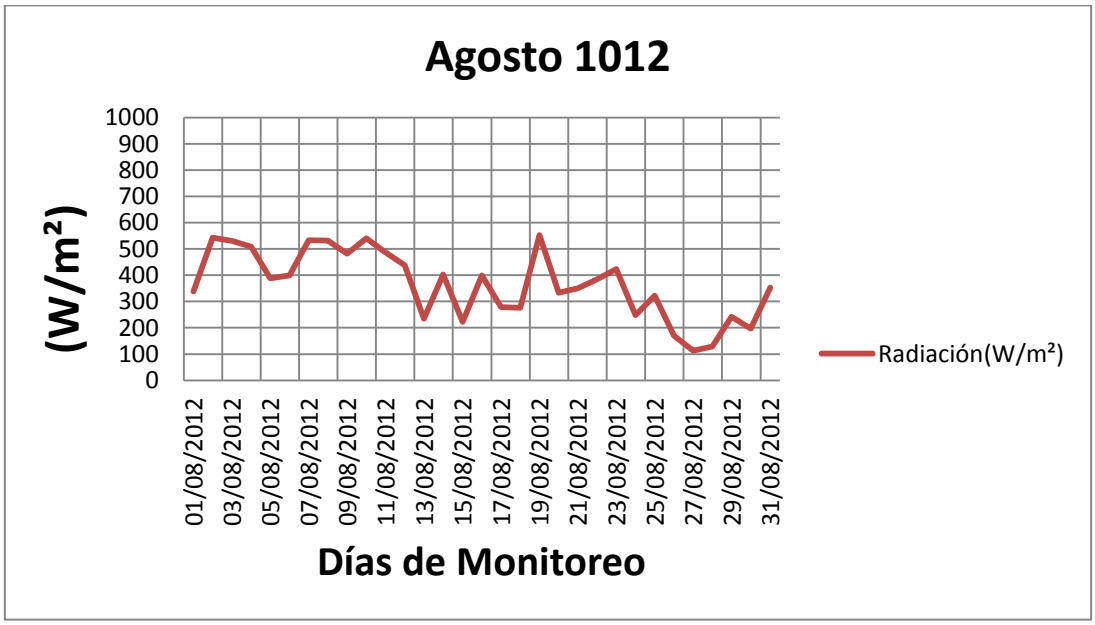
RADIACIÓN

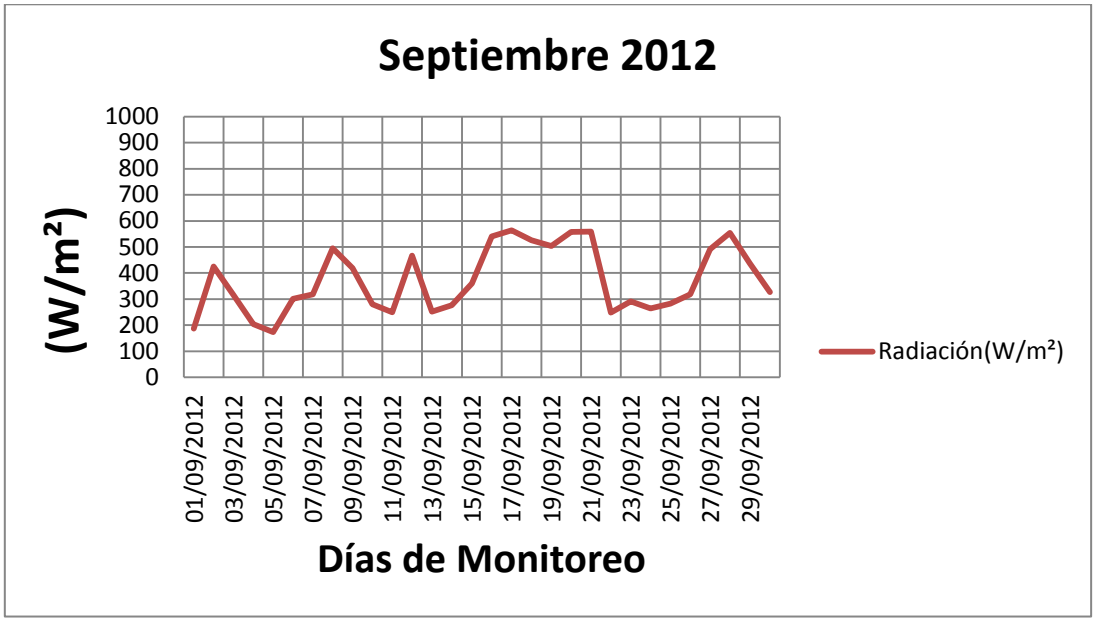
ANEXO 3

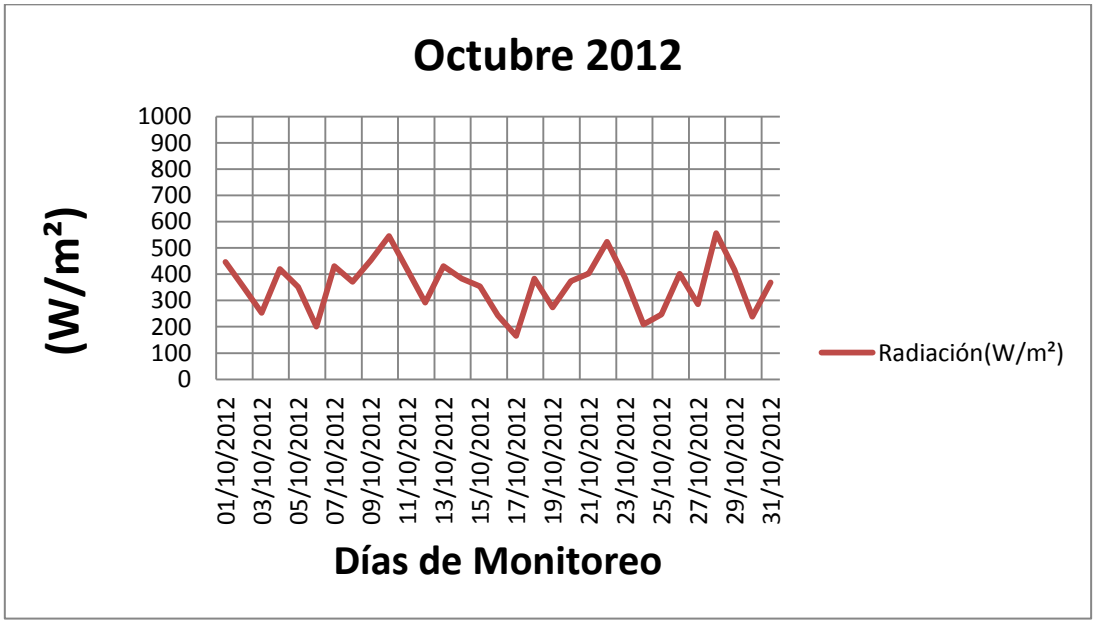
PROMEDIO DIARIO DE CADA UNO DE LOS MESES.




Julio 2012
(W/m²)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
01/07/2012
03/07/2012
05/07/2012
07/07/2012
09/07/2012
11/07/2012
13/07/2012
15/07/2012
17/07/2012
19/07/2012
21/07/2012
23/07/2012
25/07/2012
27/07/2012
29/07/2012
31/07/2012
Días de Monitoreo
Radiación(W/m²)

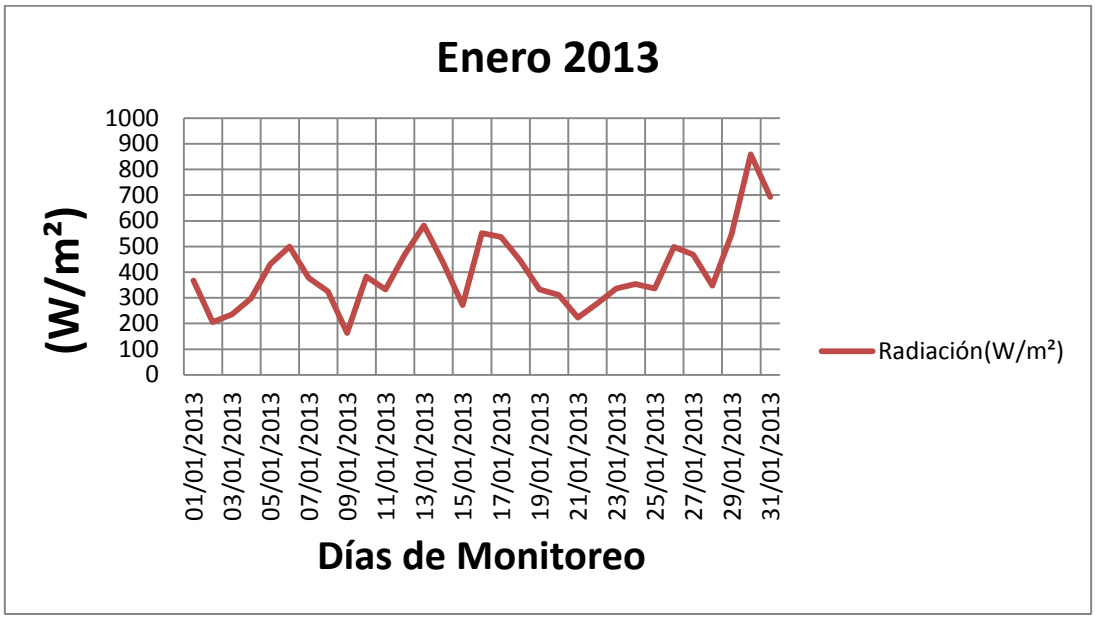

Agosto 1012
(W/m²)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
01/08/2012
03/08/2012
05/08/2012
07/08/2012
09/08/2012
11/08/2012
13/08/2012
15/08/2012
17/08/2012
19/08/2012
21/08/2012
23/08/2012
25/08/2012
27/08/2012
29/08/2012
31/08/2012
Días de Monitoreo
Radiación(W/m²)

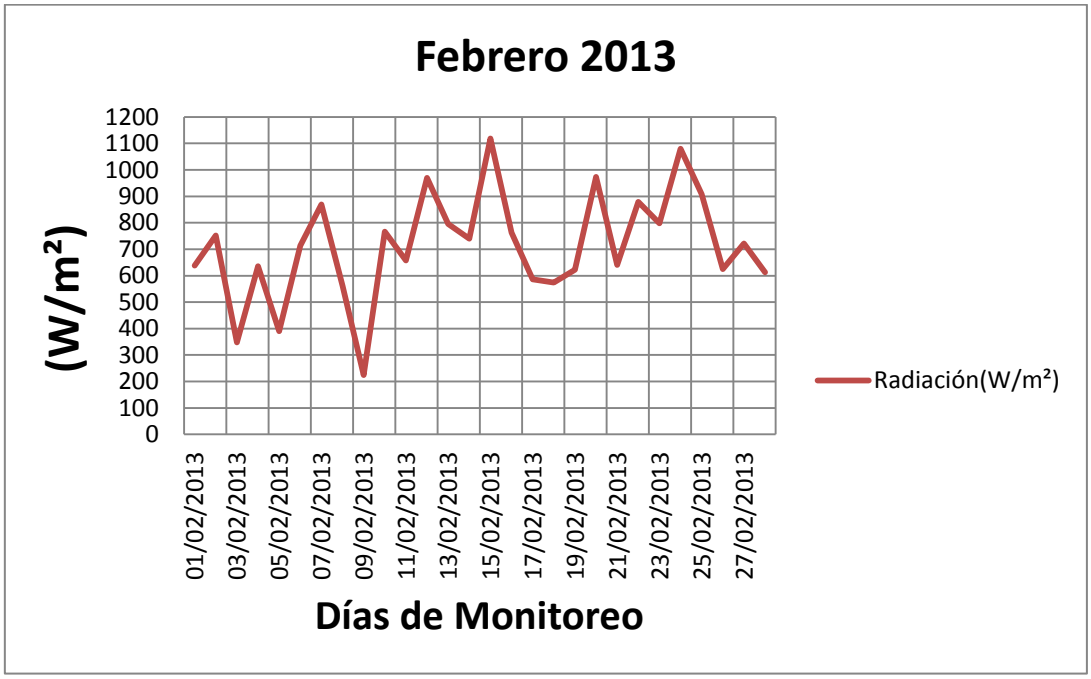

Septiembre 2012
(W/m²)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
01/09/2012
03/09/2012
05/09/2012
07/09/2012
09/09/2012
11/09/2012
13/09/2012
15/09/2012
17/09/2012
19/09/2012
21/09/2012
23/09/2012
25/09/2012
27/09/2012
29/09/2012
Días de Monitoreo
Radiación(W/m²)

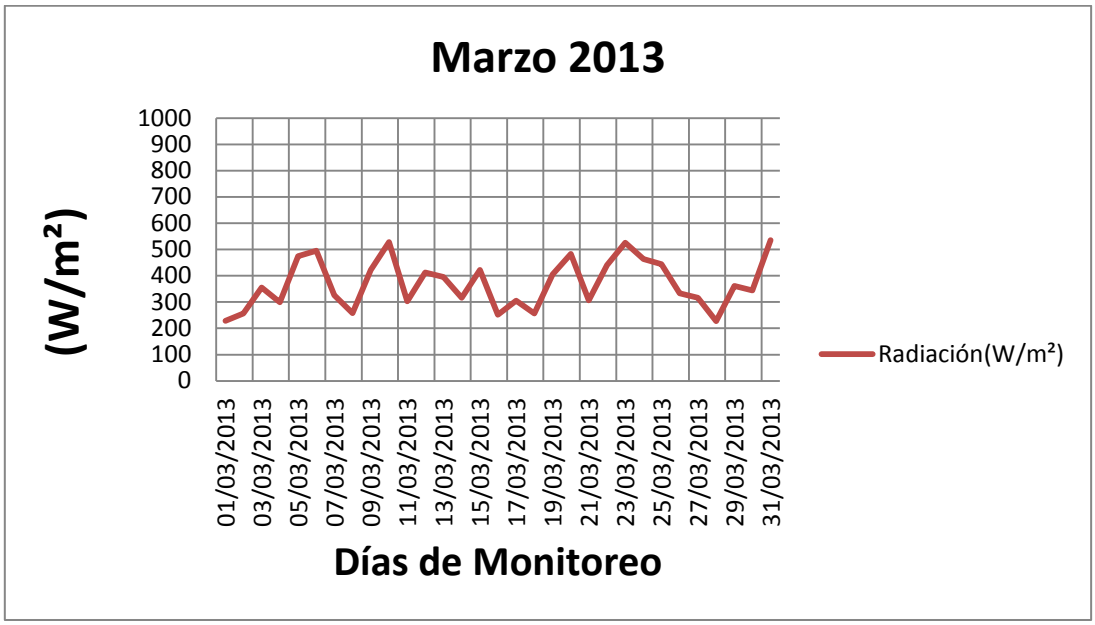

Octubre 2012
(W/m²)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
01/10/2012
03/10/2012
05/10/2012
07/10/2012
09/10/2012
11/10/2012
13/10/2012
15/10/2012
17/10/2012
19/10/2012
21/10/2012
23/10/2012
25/10/2012
27/10/2012
29/10/2012
31/10/2012
Días de Monitoreo
Radiación(W/m²)

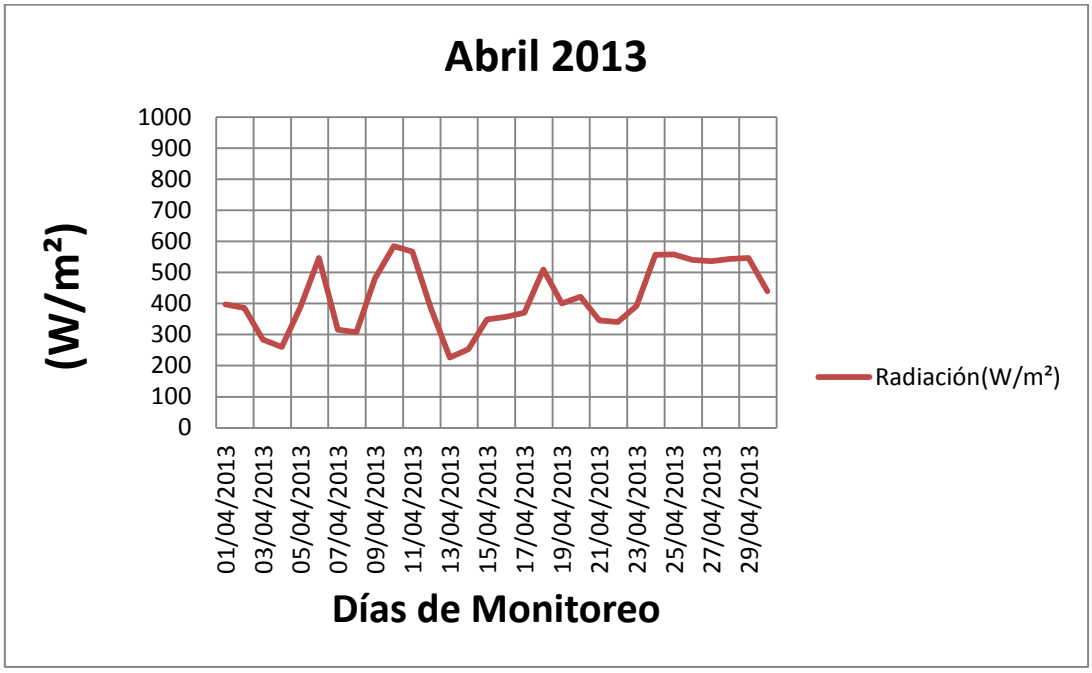
Noviembre 2012
(W/m²)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
01/11/2012
03/11/2012
05/11/2012
07/11/2012
09/11/2012
11/11/2012
13/11/2012
15/11/2012
17/11/2012
19/11/2012
21/11/2012
23/11/2012
25/11/2012
27/11/2012
29/11/2012
Días de Monitoreo
Radiación(W/m²)

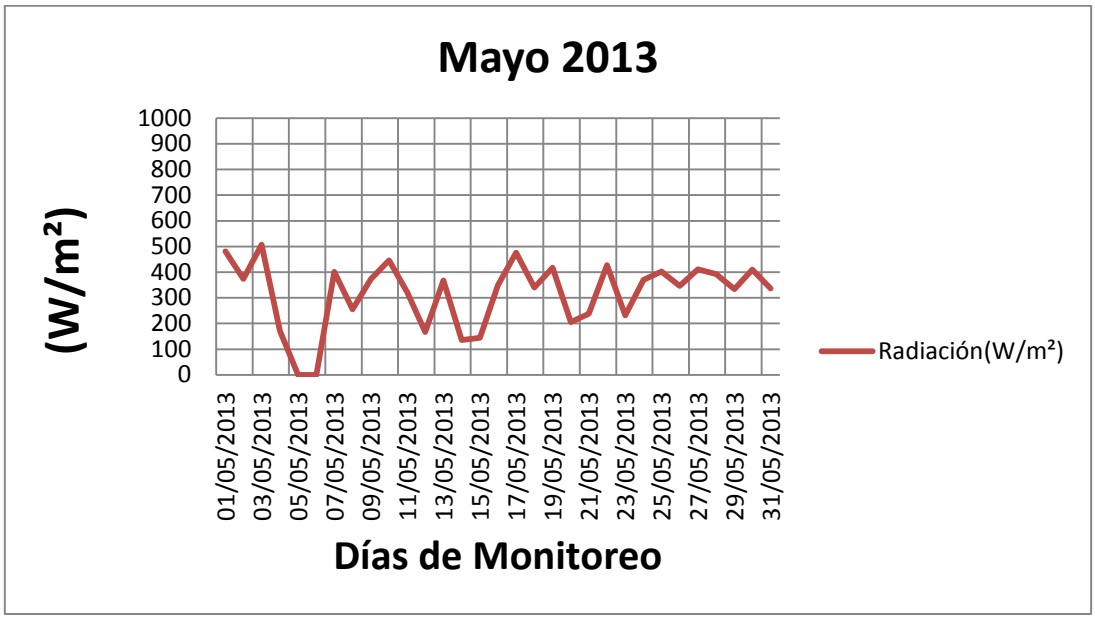
Diciembre 2012
(W/m²)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
01/12/2012
03/12/2012
05/12/2012
07/12/2012
09/12/2012
11/12/2012
13/12/2012
15/12/2012
17/12/2012
19/12/2012
21/12/2012
23/12/2012
25/12/2012
27/12/2012
29/12/2012
31/12/2012
Días de Monitoreo
Radiación(W/m²)


Enero 2013
(W/m²)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
01/01/2013
03/01/2013
05/01/2013
07/01/2013
09/01/2013
11/01/2013
13/01/2013
15/01/2013
17/01/2013
19/01/2013
21/01/2013
23/01/2013
25/01/2013
27/01/2013
29/01/2013
31/01/2013
Días de Monitoreo
Radiación(W/m²)


Febrero 2013
(W/m²)
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
01/02/2013
03/02/2013
05/02/2013
07/02/2013
09/02/2013
11/02/2013
13/02/2013
15/02/2013
17/02/2013
19/02/2013
21/02/2013
23/02/2013
25/02/2013
27/02/2013
Días de Monitoreo
Radiación(W/m²)


Marzo 2013
(W/m²)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
01/03/2013
03/03/2013
05/03/2013
07/03/2013
09/03/2013
11/03/2013
13/03/2013
15/03/2013
17/03/2013
19/03/2013
21/03/2013
23/03/2013
25/03/2013
27/03/2013
29/03/2013
31/03/2013
Días de Monitoreo
Radiación(W/m²)


Abril 2013
(W/m²)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
01/04/2013
03/04/2013
05/04/2013
07/04/2013
09/04/2013
11/04/2013
13/04/2013
15/04/2013
17/04/2013
19/04/2013
21/04/2013
23/04/2013
25/04/2013
27/04/2013
29/04/2013
Días de Monitoreo
Radiación(W/m²)


Mayo 2013
(W/m²)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
01/05/2013
03/05/2013
05/05/2013
07/05/2013
09/05/2013
11/05/2013
13/05/2013
15/05/2013
17/05/2013
19/05/2013
21/05/2013
23/05/2013
25/05/2013
27/05/2013
29/05/2013
31/05/2013
Días de Monitoreo
Radiación(W/m²)

ANEXO 4

CÁLCULO DEL ÁREA DE CAPTACIÓN REAL DE UNA COCINA SOLAR.

CÁLCULO DE LOS ÁNGULOS ÓPTIMOS DEL REFLECTOR.|

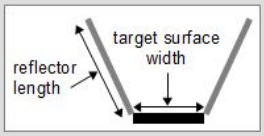
Calculadora para el ángulo óptimo reflector - dado el ancho de destino y la longitud del reflector

Este ángulo óptimo reflector reflejará a toda el área de superficie del objetivo.

Paso 1. Los valores de entrada de abajo y haga clic en Calcular ...

Anchura de la superficie de destino: 20.35 (Pulgadas)

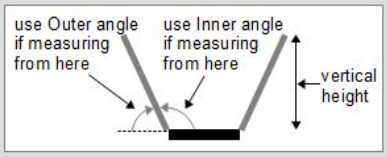
Longitud del reflector: 16.14 (Pulgadas) Calcular



Paso 2. Utilice uno de los siguientes ángulos óptimos ...

Ángulos óptimos para el reflector son: = Outer 57.6 grados, Inner = 122.4 grados.

Altura vertical del reflector es = 13.6 pulgadas



Las fórmulas utilizadas:

$$\text{inner_angle} = 90^\circ + \sin^{-1}\left(\frac{-\text{reflector_length}}{4 \times \text{target_width}} + \frac{1}{4}\sqrt{\frac{\text{reflector_length}^2}{\text{target_width}^2} + 8}\right)$$

$$\text{outer_angle} = 180^\circ - \text{inner_angle}$$

$$\text{vertical_height} = \sin(\text{outer_angle}) \times \text{reflector_length}$$

La fuente original de la fórmula anterior para el ángulo interior es Horno Solar Diseño de David Omick página web.

CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL REFLECTOR UTILIZANDO LOS ÁNGULOS ÓPTIMOS OBTENIDOS.

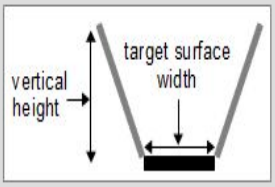
Calculadora para el ángulo óptimo reflector - dado el ancho de destino y altura vertical

Este ángulo óptimo reflector reflejará a toda el área de superficie del objetivo.

Paso 1. Los valores de entrada de abajo y haga clic en Calcular ...

Anchura de la superficie de destino: 20.35 (Pulgadas)

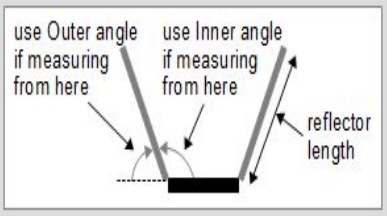
Altura vertical al principio de reflector: 13.6 (Pulgadas) Calcular



Paso 2. Utilice uno de los siguientes ángulos óptimos ...

Ángulos óptimos para el reflector son: = Outer 57.6 grados, Inner = 122.4 grados.

longitud del reflector es = 16.1 pulgadas



INGRESO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA DE CAPTACIÓN DE LA COCINA SOLAR.

Calculadora para el área de captura

Esto calcular el área de la luz del sol se le capturando.

Paso 1. Los valores de entrada de abajo y haga clic en Calcular ...

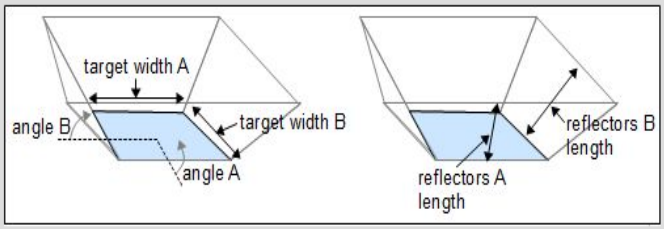
Se pidió a dos conjuntos de valores de A y B, en caso de que tienen un objetivo rectangular. Si su objetivo es cuadrada y luego sólo tiene que repetir los valores.

Anchura A de superficie de destino: 20.35 (Pulgadas)

Ancho B de superficie de destino: 24.33 (Pulgadas)

Reflectores Una longitud: 16.14 (Pulgadas)

Reflectores B Longitud: 21.26 (Pulgadas) Si usted está tomando los siguientes ángulos de las calculadoras de arriba y luego asegurarse de que está usando los ángulos exteriores, como se muestra en el diagrama de la derecha. Ángulo A:



122.4 (Grados)

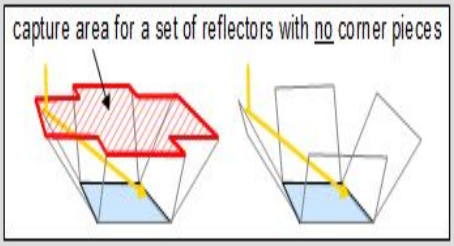
Ángulo B: 57.6 (Grados) Calcular

RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL ÁREA DE CAPTACIÓN DE LA COCINA SOLAR.

Paso 2. Las zonas de captura calculados ...

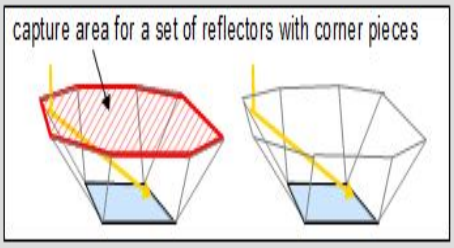
Área de captura aproximado = 525.8 pulgadas cuadradas (sin esquinas)

Estos reflectores no se extienden a las esquinas ya los rayos de sol que cualquier iniciado en una esquina acaba de reflejar de reflector reflector hasta que abandonó por completo. No sería golpear la zona objetivo.



Área de captura aproximado = 328.7 centímetros cuadrados (con piezas de esquina)

Se añaden Piezas de esquina que reflejan la luz solar hacia el objetivo.



ANEXO 5

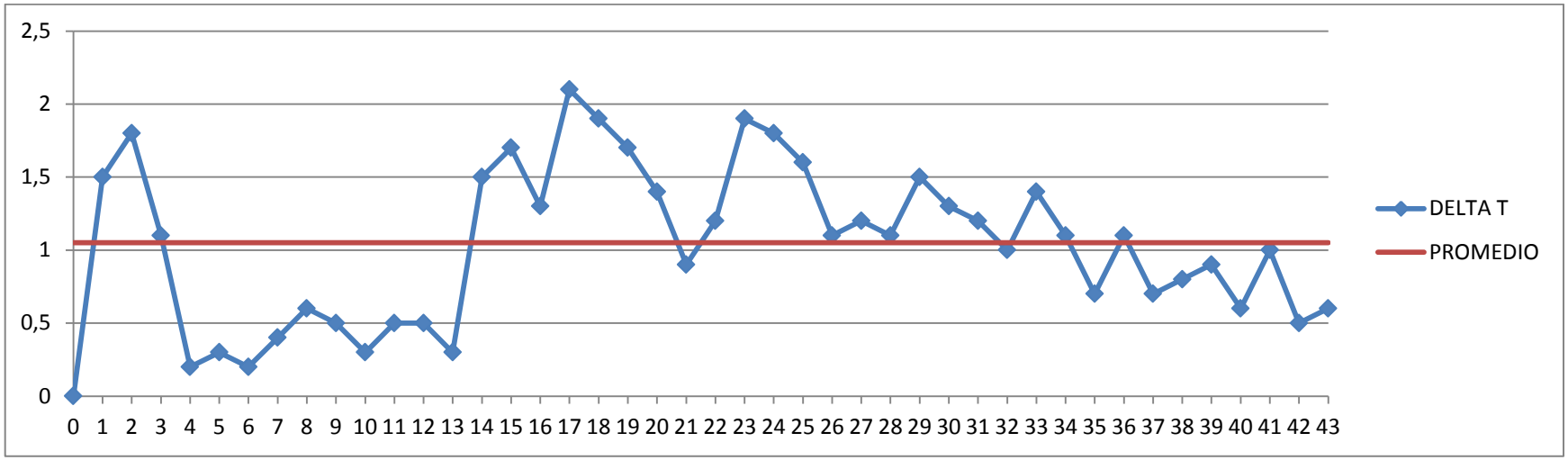
CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA COCINA SOLAR TIPO CAJA OBTENIDAS DEL PRIMER DÍA DE MONITOREO.

Tabla. Resultados de monitoreo de cocina tipo caja, para análisis de características y rendimiento.

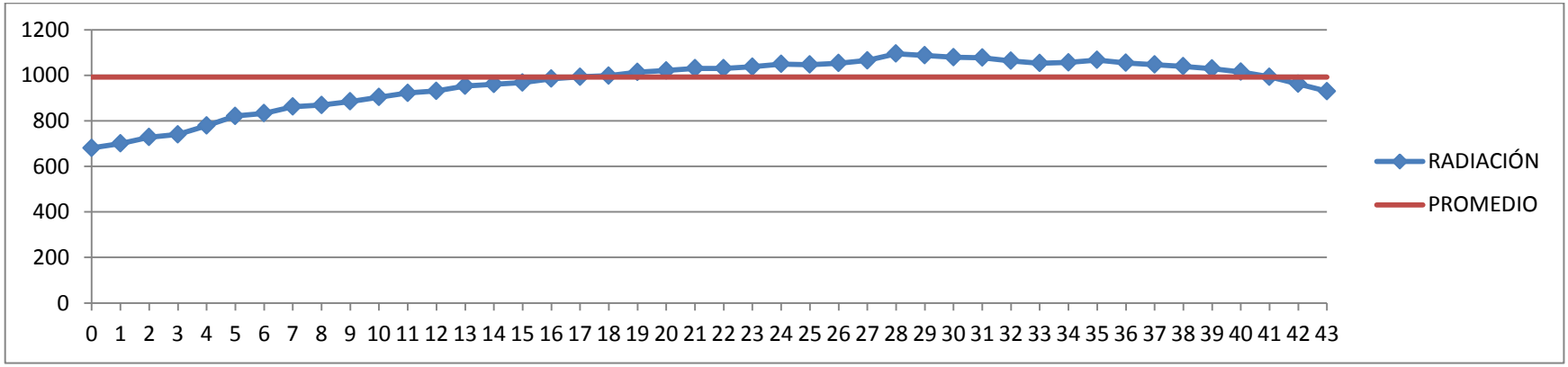
ITEM	***Hora***	***T***	***ΔT***	***ΔT(prom)***	***Rad_i***	***Rad_i(prom)***
		(°C)	(°C)	(°C)	(w/m^2)	(w/m^2)
0	10:25	0,00	0,00		681	
1	10:30	34,00	1,50		700	
2	10:35	35,50	1,80		728	
3	10:40	37,30	1,10		740	
4	10:45	38,40	0,20		779	
5	10:50	38,60	0,30		821	
6	10:55	38,90	0,20		833	
7	11:00	39,10	0,40		862	
8	11:05	39,50	0,60		869	
9	11:10	40,10	0,50		885	
10	11:15	40,60	0,30		904	
11	11:20	40,90	0,50	**1,051**	922	**991,5**
12	11:25	41,40	0,50		931	
13	11:30	41,90	0,30		953	
14	11:35	42,20	1,50		961	
15	11:40	43,70	1,70		968	
16	11:45	45,40	1,30		985	
17	11:50	46,70	2,10		993	
18	11:55	48,80	1,90		998	
19	12:00	50,70	1,70		1014	
20	12:05	52,40	1,40		1021	
21	12:10	53,80	0,90		1030	
22	12:15	54,70	1,20		1030	

23	12:20	55,90	1,90		1037	
24	12:25	57,80	1,80		1049	
25	12:30	59,60	1,60		1047	
26	12:35	61,20	1,10		1053	
27	12:40	62,30	1,20		1065	
28	12:45	63,50	1,10		1095	
29	12:50	64,60	1,50		1087	
30	12:55	66,10	1,30		1079	
31	13:00	67,40	1,20		1077	
32	13:05	68,60	1,00		1063	
33	13:10	69,60	1,40		1053	
34	13:15	71,00	1,10		1056	
35	13:20	72,10	0,70		1067	
36	13:25	72,80	1,10		1054	
37	13:30	73,90	0,70		1047	
38	13:35	74,60	0,80		1039	
39	13:40	75,40	0,90		1029	
40	13:45	76,30	0,60		1015	
41	13:50	76,90	1,00		993	
42	13:55	77,90	0,50		962	
43	14:00	78,40	0,60		952	
44	14:05	**79,00**	1,20		930	

Las gráficas, muestran la variación de la temperatura y radiación solar respecto a los puntos de medición.



Variación de radiación



El valor promedio de la temperatura y de la radiación durante el monitoreo son:

- ✓ Temperatura media:

$$\hat{f} = \frac{1}{n}\int_0^{43} f(x)\cdot dx$$

$$\hat{f} = \left(\frac{b-a}{3\cdot n^2}\right)\cdot(f_0 + 4\cdot f_1 + 2\cdot f_2 + 4\cdot f_3 + 2\cdot f_4 \ldots + 2\cdot f_{n-2} + 4\cdot f_{n-1} + f_n)$$

$$T_{(media)} = \left[\frac{43}{3\cdot(43)^2}\right]\cdot\left(\sum f_{(extremos)} + 4\cdot\sum f_{(impares)} + 2\cdot\sum f_{(pares)}\right)$$

$$\Delta T_{(media)} = \frac{(0{,}6 + 92{,}4 + 42{,}6)}{129}\,°\mathrm{C}$$

$$\Delta T_{(media)} = 1{,}05\ °\mathrm{C}$$

- ✓ Radiación media durante el monitoreo:

$$R_{(media)} = \left[\frac{43}{3\cdot(43)^2}\right]\cdot\left(\sum R_{(extremos)} + 4\cdot\sum R_{(impares)} + 2\cdot\sum R_{(pares)}\right)$$

$$R_{(media)} = \frac{(1611 + 85280 + 41008)}{129}\cdot\frac{W}{m^2}$$

$$R_{(media)} = 991{,}47\frac{W}{m^2}$$

De lo anterior se puede concluir lo siguiente:

- ✓ La cocina Parvati sometida a monitoreo, incrementa la temperatura de la masa de prueba (1 litro de agua) a razón de 1,05°C cada cinco minutos, cuando la radiación solar en el sector tiene un valor promedio de $991{,}47\frac{W}{m^2}$
- ✓ Basado en el área de la cocina y la radiación media del monitoreo, la potencia de entrada (promedio) es:

$$P_e = R_{(media)}\cdot A_{cocina_parvati}$$

$$P_e = 991{,}47\frac{W}{m^2}\cdot 0{,}339\ m^2$$

$$P_e = 336{,}108\ W$$

- ✓ Basado en el incremento medio de temperatura, la masa de prueba y el intervalo de medición, se obtiene una potencia promedio de:

$$P_o = \frac{m_{prueba} \cdot C_{p_H2O} \cdot \Delta T_{(media)}}{t}$$

$$P_o = \frac{1kg \cdot 4185.5 \frac{J}{kg \cdot ℃} \cdot 1{,}05\ ℃}{300s}$$

$$P_o = 14{,}65\ W$$

- ✓ Con las potencias de entrada y de salida, el rendimiento de la cocina es:

$$\eta_{parvati} = \frac{P_o}{P_e}$$

$$\eta_{parvati} = \frac{14{,}65\ W}{336{,}108\ W}$$

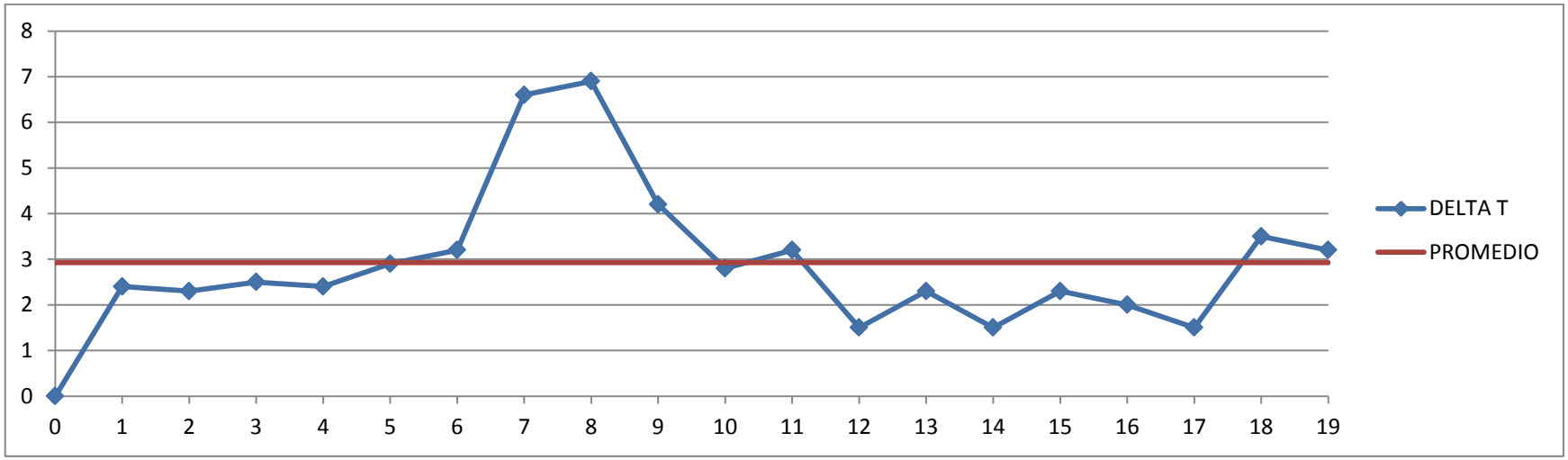
$$\eta_{parvati} = 0{,}0436$$

CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA COCINA SOLAR TIPO COMBINADA OBTENIDAS DEL PRIMER DÍA DE MONITOREO.

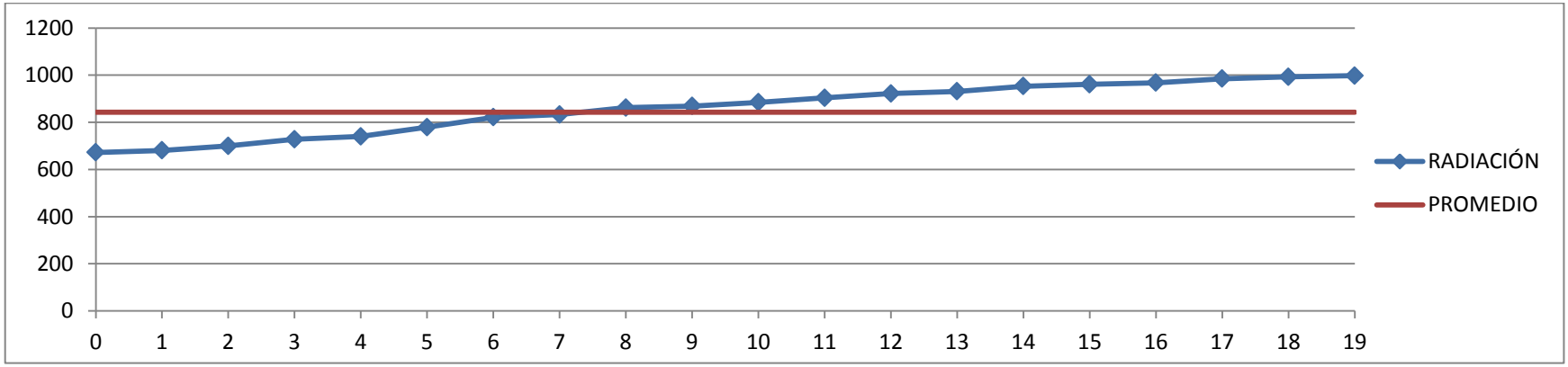
Tabla. Resultados de monitoreo de cocina combinada, para análisis de características y rendimiento

ITEM	***Hora***	***T***	***ΔT***	***ΔT(prom)***	***Rad_i***	***Rad_i(prom)***
		(°C)	(°C)	(°C)	(w/m^2)	(w/m^2)
0	10:20	00,00	0,00	**2,9**	672	**842,8**
1	10:25	38,30	2,40		681	
2	10:30	40,60	2,30		700	
3	10:35	43,10	2,50		728	
4	10:40	45,50	2,40		740	
5	10:45	48,40	2,90		779	
6	10:50	51,60	3,20		821	
7	10:55	58,20	6,60		833	
8	11:00	65,10	6,90		862	
9	11:05	69,30	4,20		869	
10	11:10	72,10	2,80		885	
11	11:15	75,30	3,20		904	
12	11:20	76,80	1,50		922	
13	11:25	79,10	2,30		931	
14	11:30	80,60	1,50		953	
15	11:35	82,90	2,30		961	
16	11:40	84,90	2,00		968	
17	11:45	86,40	1,50		985	
18	11:50	89,90	3,50		993	
19	11:55	93,10	3,20		998	

Las gráficas, muestran la variación de la temperatura y radiación solar respecto a los puntos de medición.



Variación de radiación.



El valor promedio de la temperatura y de la radiación durante el monitoreo son:

- ✓ Temperatura media:

$$\hat{f} = \frac{1}{n}\int_0^{19} f(x)\cdot dx$$

$$\hat{f} = \left(\frac{b-a}{3\cdot n^2}\right)\cdot(f_0 + 4\cdot f_1 + 2\cdot f_2 + 4\cdot f_3 + 2\cdot f_4 \ldots + 2\cdot f_{n-2} + 4\cdot f_{n-1} + f_n)$$

$$T_{(media)} = \left[\frac{19}{3\cdot(19)^2}\right]\cdot\left(\sum f_{(extremos)} + 4\cdot\sum f_{(impares)} + 2\cdot\sum f_{(pares)}\right)$$

$$\Delta T_{(media)} = \frac{(3{,}2 + 111{,}6 + 52{,}2)}{57}\,°\mathrm{C}$$

$$\Delta T_{(media)} = 2{,}93\ °\mathrm{C}$$

- ✓ Radiación media durante el monitoreo:

$$R_{(media)} = \left[\frac{19}{3\cdot(19)^2}\right]\cdot\left(\sum R_{(extremos)} + 4\cdot\sum R_{(impares)} + 2\cdot\sum R_{(pares)}\right)$$

$$R_{(media)} = \frac{(1670 + 30684 + 15688)}{57}\cdot\frac{W}{m^2}$$

$$R_{(media)} = 842{,}84\frac{W}{m^2}$$

De lo anterior se puede concluir lo siguiente:

- ✓ La cocina Combinada sometida a monitoreo, incrementa la temperatura de la masa de prueba (1 litro de agua) a razón de 2,93°C cada cinco minutos, cuando la radiación solar en el sector tiene un valor promedio de $842{,}84\frac{W}{m^2}$
- ✓ Basado en el área de la cocina y la radiación media del monitoreo, la potencia de entrada (promedio) es:

$$P_e = R_{(media)}\cdot A_{cocina_parvati}$$

$$P_e = 842{,}84\frac{W}{m^2}\cdot 0{,}59m^2$$

$$P_e = 497{,}275\ W$$

- ✓ Basado en el incremento medio de temperatura, la masa de prueba y el intervalo de medición, se obtiene una potencia promedio de:

$$P_o = \frac{m_{prueba} \cdot C_{p_H2O} \cdot \Delta T_{(media)}}{t}$$

$$P_o = \frac{1kg \cdot 4185.5 \frac{J}{kg \cdot ℃} \cdot 2{,}93\ ℃}{300s}$$

$$P_o = 40{,}83\ W$$

- ✓ Con las potencias de entrada y de salida, el rendimiento de la cocina es:

$$\eta_{parvati} = \frac{P_o}{P_e}$$

$$\eta_{parvati} = \frac{40{,}83\ W}{497{,}28\ W}$$

$$\eta_{parvati} = 0{,}082$$

ANEXO 6

HOJAS DE DATOS PARA MONITOREO DE CADA COCINA SOLAR, SIN DEPURAR LOS DATOS QUE NO SE UTILIZAN.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

HOJA DE DATOS DE MONITOREO PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE EQUIPOS SOLAR-TÉRMICOS

Nombre del proyecto: *"Diseño, construcción y análisis funcional-experimental de una cocina solar combinada (parvati – tipo caja) para el Laboratorio de Energías Renovables de la CIEM – UNL".*

Responsables: *Egdo. César Uyaguari Carrión.* **Director:** *Ing. Msc. Thuesman Montaño Peralta.*

Sector: *Catamayo - Loja - Ecuador* **Fecha: 26** *de Noviembre del 2013.*

Observaciones: Cocina Parvati

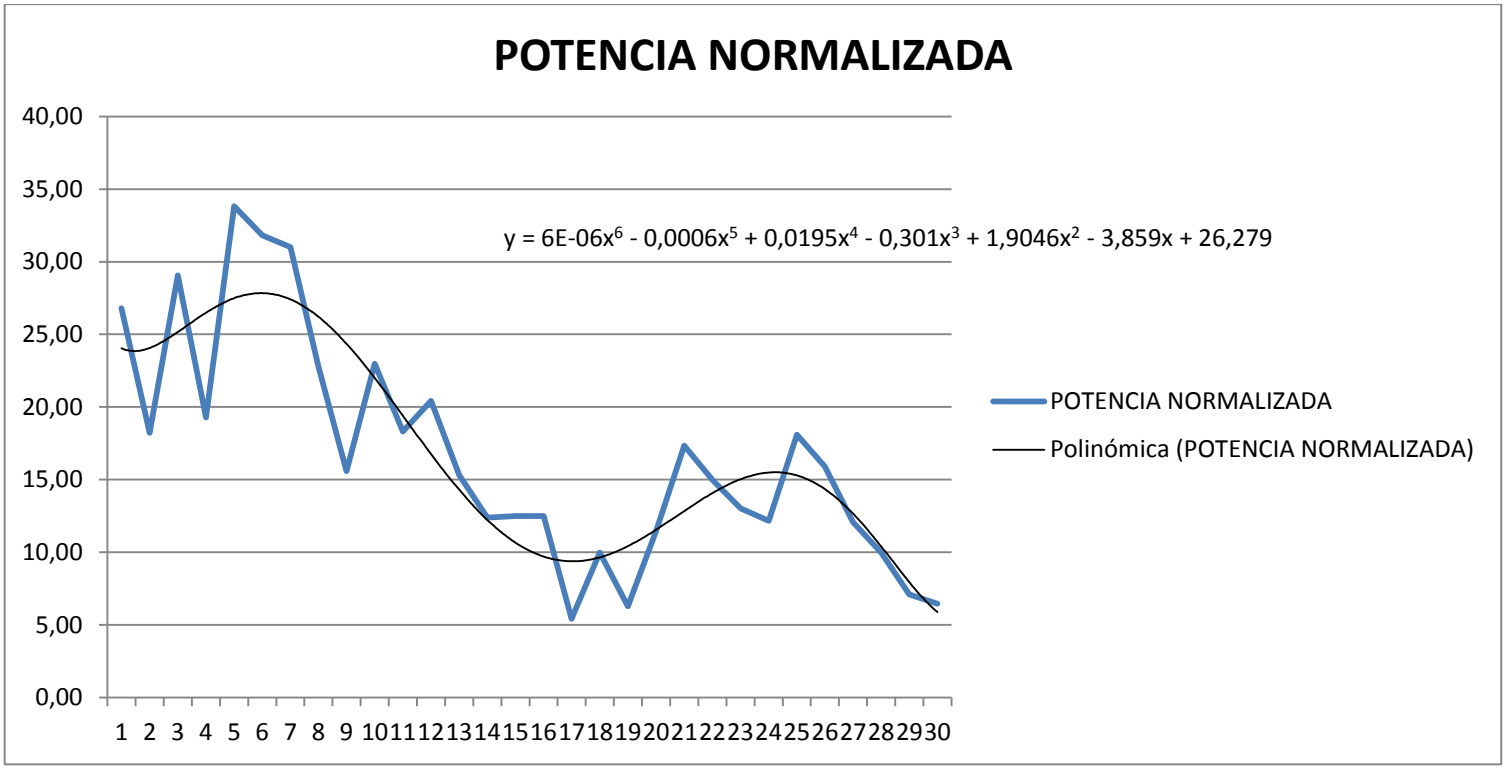
Período de monitoreo (hh/min)	
Inicio	**Fin**
10:00	*14:00*
Frecuencia de muestra (min):	*5*
Masa o volumen de prueba:	1 litro

Datos generales del sector					Datos base del monitoreo			
Altitud	**Presión barométrica**		**Temperatura promedio**		**Temp. inicio**		**Temp final**	
msnm	*KPa*	*Bar*	*ºC*	*ºK*	*ºC*	*ºK*	*ºC*	*ºK*
1200	*87*	*0,870*	28	301	*33*	*306*	90	363

Observaciones:

N.-	Hh/min	Temp_i	Temp_(i+1)	ΔT	Rad_i	Rad_(i+1)	Δ(Rad)	Ec_i	Ec_(i+1)	Δ(Ec)	Ei	Es	Ec_nor	Rend
		ºC	*ºC*	*ºC ó ºK*	*watts/m2*	*watts/m2*	*watts/m2*	*J*	*J*	*J*	watts	watts	watts	
1	10:00	27,40	29,50	2,10	642	650,0	8,00	8780,73	**9198,86**	418,13	386,41	30,66	33,43	0,08
2	10:05	29,50	31,70	2,20	650	655,0	5,00	9198,86	**5435,69**	-3763,17	391,44	18,12	19,51	0,05
3	10:10	31,70	33,00	1,30	655	667,0	12,00	5435,69	**9616,99**	4181,30	396,48	32,06	34,26	0,08
4	10:15	33,00	35,30	2,30	667	672,0	5,00	9616,99	**6690,08**	-2926,91	400,62	22,30	23,40	0,06
5	10:20	35,30	36,90	1,60	672	681,0	9,00	6690,08	**10453,25**	3763,17	408,91	34,84	36,30	0,09
6	10:25	36,90	39,40	2,50	681	700,0	19,00	10453,25	**9198,86**	-1254,39	422,83	30,66	31,52	0,07
7	10:30	39,40	41,60	2,20	700	728,0	28,00	9198,86	**7944,47**	-1254,39	434,67	26,48	26,48	0,06
8	10:35	41,60	43,50	1,90	728	740,0	12,00	7944,47	**3345,04**	-4599,43	449,78	11,15	10,72	0,02
9	10:40	43,50	44,30	0,80	740	779,0	39,00	3345,04	**3345,04**	0,00	473,76	11,15	10,55	0,02
10	10:45	44,30	45,10	0,80	779	821,0	42,00	3345,04	**6690,08**	3345,04	489,75	22,30	20,04	0,05
11	10:50	45,10	46,70	1,60	821	833,0	12,00	6690,08	**2090,65**	-4599,43	501,89	6,97	5,94	0,01
12	10:55	46,70	47,20	0,50	833	862,0	29,00	2090,65	**5853,82**	3763,17	512,55	19,51	16,40	0,04
13	11:00	47,20	48,60	1,40	862	869,0	7,00	5853,82	**3763,17**	-2090,65	519,36	12,54	10,19	0,02
14	11:05	48,60	49,50	0,90	869	885,0	16,00	3763,17	**3763,17**	0,00	529,72	12,54	10,10	0,02
15	11:10	49,50	50,40	0,90	885	904,0	19,00	3763,17	**4599,43**	836,26	540,68	15,33	12,13	0,03
16	11:15	50,40	51,50	1,10	904	922,0	18,00	4599,43	**5435,69**	836,26	548,67	18,12	14,03	0,03
17	11:20	51,50	52,80	1,30	922	931,0	9,00	5435,69	**1254,39**	-4181,30	557,85	4,18	3,17	0,01
18	11:25	52,80	53,10	0,30	931	953,0	22,00	1254,39	**6690,08**	5435,69	566,74	22,30	16,77	0,04
19	11:30	53,10	54,70	1,60	953	961,0	8,00	6690,08	**4599,43**	-2090,65	571,18	15,33	11,26	0,03
20	11:35	54,70	55,80	1,10	961	968,0	7,00	4599,43	**5435,69**	836,26	578,28	18,12	13,20	0,03
21	11:40	55,80	57,10	1,30	968	985,0	17,00	5435,69	**8780,73**	3345,04	585,69	29,27	21,17	0,05
22	11:45	57,10	59,20	2,10	985	993,0	8,00	8780,73	**4599,43**	-4181,30	589,54	15,33	10,90	0,03
23	11:50	59,20	60,30	1,10	993	998,0	5,00	4599,43	**4599,43**	0,00	595,75	15,33	10,81	0,03
24	11:55	60,30	61,40	1,10	998	1014,0	16,00	4599,43	**7526,34**	2926,91	602,56	25,09	17,60	0,04
25	12:00	61,40	63,20	1,80	1014	1021,0	7,00	7526,34	**9198,86**	1672,52	607,30	30,66	21,17	0,05
26	12:05	63,20	65,40	2,20	1021	1030,0	9,00	9198,86	**9616,99**	418,13	609,97	32,06	21,98	0,05
27	12:10	65,40	67,70	2,30	1030	1030,0	0,00	9616,99	**6690,08**	-2926,91	612,04	22,30	15,16	0,04
28	12:15	67,70	69,30	1,60	1030	1037,0	7,00	6690,08	**7944,47**	1254,39	617,66	26,48	18,00	0,04
29	12:20	69,30	71,20	1,90	1037	1049,0	12,00	7944,47	**7108,21**	-836,26	620,63	23,69	15,99	0,04
30	12:25	71,20	72,90	1,70	1049	1047,0	-2,00	7108,21	**5017,56**	-2090,65	621,81	16,73	11,16	0,03
31	12:30	72,90	74,10	1,20	1047	1053,0	6,00	5017,56	**5435,69**	418,13	627,14	18,12	12,11	0,03
32	12:35	74,10	75,40	1,30	1053	1065,0	12,00	5435,69	**4599,43**	-836,26	639,58	15,33	10,19	0,02
33	12:40	75,40	76,50	1,10	1065	1095,0	30,00	4599,43	**3763,17**	-836,26	646,09	12,54	8,24	0,02
34	12:45	76,50	77,40	0,90	1095	1087,0	-8,00	3763,17	**6271,95**	2508,78	641,35	20,91	13,36	0,03
35	12:50	77,40	78,90	1,50	1087	1079,0	-8,00	6271,95	**9198,86**	2926,91	638,39	30,66	19,75	0,05
36	12:55	78,90	81,10	2,20	1079	1077,0	-2,00	9198,86	**2090,65**	-7108,21	633,65	6,97	4,52	0,01
37	13:00	81,10	81,60	0,50	1077	1063,0	-14,00	2090,65	**-836,26**	-2926,91	626,55	-2,79	-1,81	0,00
38	13:05	81,60	81,40	-0,20	1063	1053,0	-10,00	-836,26	**2090,65**	2926,91	624,47	6,97	4,59	0,01
39	13:10	81,40	81,90	0,50	1053	1056,0	3,00	2090,65	**3345,04**	1254,39	628,62	11,15	7,41	0,02
40	13:15	81,90	82,70	0,80	1056	1067,0	11,00	3345,04	**1672,52**	-1672,52	628,03	5,58	3,70	0,01
41	13:20	82,70	83,10	0,40	1067	1054,0	-13,00	1672,52	**836,26**	-836,26	622,11	2,79	1,83	0,00
42	13:25	83,10	83,30	0,20	1054	1047,0	-7,00	836,26	**418,13**	-418,13	617,66	1,39	0,93	0,00
43	13:30	83,30	83,40	0,10	1047	1039,0	-8,00	418,13	**-3763,17**	-4181,30	612,33	-12,54	-8,39	-0,02
44	13:35	83,40	82,50	-0,90	1039	1029,0	-10,00	-3763,17	**-3763,17**	0,00	605,23	-12,54	-8,45	-0,02
45	13:40	82,50	81,60	-0,90	1029	1015,0	-14,00	-3763,17	**0,00**	3763,17	594,57	0,00	0,00	0,00
46	13:45	81,60	81,60	0,00	1015	993,0	-22,00	0,00	**-7944,47**	-7944,47	578,88	-26,48	-18,26	-0,05
47	13:50	81,60	79,70	-1,90	993	962,0	-31,00	-7944,47	**-4181,30**	3763,17	566,74	-13,94	-9,83	-0,02
48	13:55	79,70	78,70	-1,00	962	952,0	-10,00	-4181,30	**1672,52**	5853,82	557,26	5,58	4,06	0,01
49	14:00	78,70	79,10	0,40	952	930,0	-22,00	1672,52	**0,00**	-1672,52	275,37	0,00	0,00	0,00

La gráfica, muestra la variación de la potencia normalizada de la cocina Parvati y su respectiva ecuación polinómica.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

HOJA DE DATOS DE MONITOREO PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE EQUIPOS SOLAR-TÉRMICOS

Nombre del proyecto: "Diseño, construcción y análisis funcional-experimental de una cocina solar combinada (parvati – tipo caja) para el Laboratorio de Energías Renovables de la CIEM – UNL".

Responsables: *Egdo. César Uyaguari Carrión.* **Director:** *Ing. Msc. Thuesman Montaño Peralta.* **Período de monitoreo (hh/min)**

Sector: *Catamayo - Loja - Ecuador* **Fecha: 26** *de Noviembre del 2013.* **Inicio** *10:00* **Fin** *14:00*

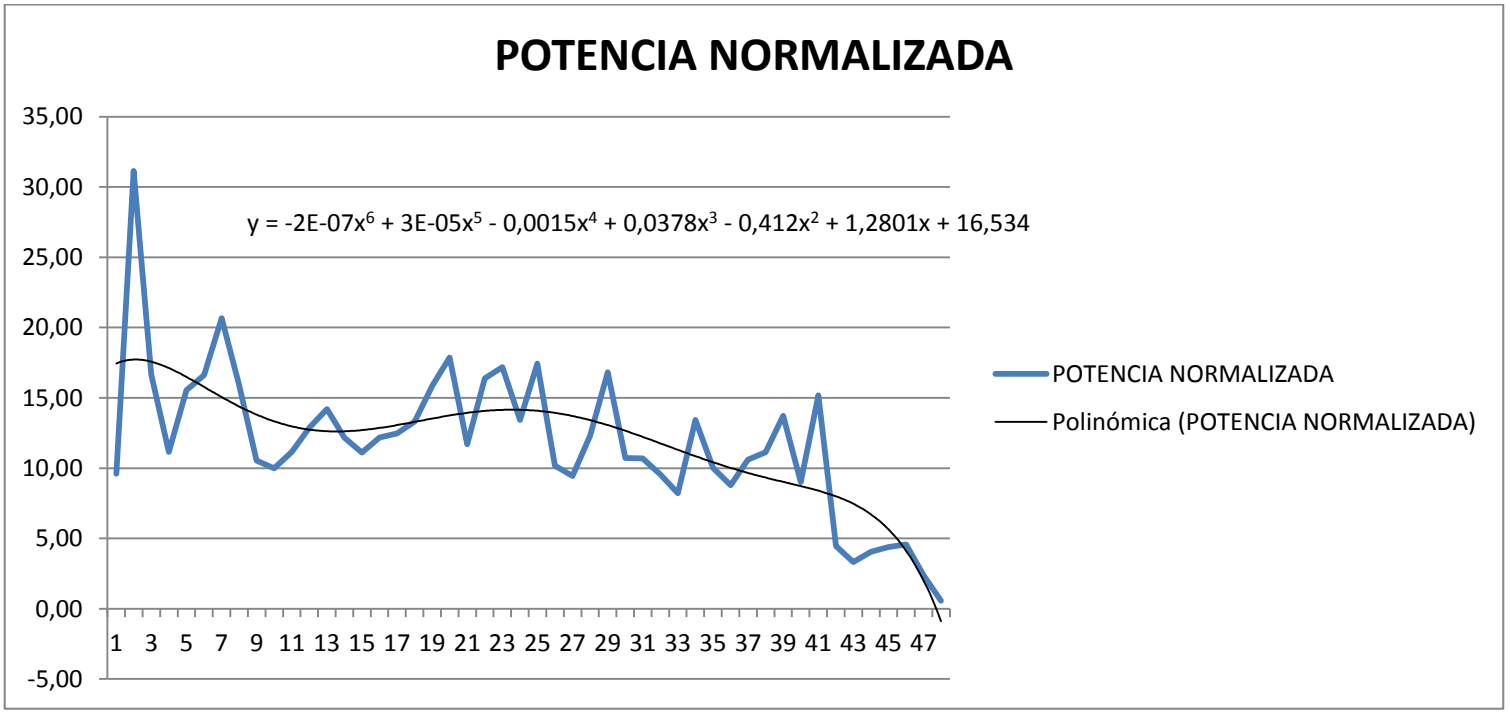
Observaciones: Tipo Caja

Datos generales del sector					Datos base del monitoreo				
Altitud	Presión barométrica		Temperatura promedio		Temp. inicio		Temp final		Frecuencia de muestra (min): 5
msnm	*KPa*	*Bar*	*ºC*	*ºK*	*ºC*	*ºK*	*ºC*	*ºK*	Masa o volumen de prueba: 1 litro
1200	*87*	*0,870*	28	301	*33*	*306*	90	363	

Observaciones:

N.-	Hh/min	Temp_i	Temp_(i+1)	ΔT	Rad_i	Rad_(i+1)	Δ(Rad)	Ec_i	Ec_(i+1)	Δ(Ec)	Ei	Es	Ec_nor	Rend
		ºC	*ºC*	*ºC ó ºK*	*watts/m2*	*watts/m2*	*watts/m2*	*J*	*J*	*J*	watts	watts	watts	
1	10:00	26,00	26,30	0,30	642	650,0	8,00	1254,39	**1672,52**	418,13	221,20	5,58	6,08	0,03
1	10:05	26,30	26,70	0,40	650	655,0	5,00	1672,52	**18397,72**	16725,20	224,08	61,33	66,04	0,27
1	10:10	26,70	31,10	4,40	655	667,0	12,00	18397,72	**2926,91**	-15470,81	226,96	9,76	10,43	0,04
1	10:15	31,10	31,80	0,70	667	672,0	5,00	2926,91	**4181,30**	1254,39	229,33	13,94	14,63	0,06
1	10:20	31,80	32,80	1,00	672	681,0	9,00	4181,30	**5017,56**	836,26	234,08	16,73	17,42	0,07
1	10:25	32,80	34,00	1,20	681	700,0	19,00	5017,56	**6271,95**	1254,39	242,05	20,91	21,49	0,09
1	10:30	34,00	35,50	1,50	700	728,0	28,00	6271,95	**7526,34**	1254,39	248,83	25,09	25,09	0,10
1	10:35	35,50	37,30	1,80	728	740,0	12,00	7526,34	**4599,43**	-2926,91	257,47	15,33	14,74	0,06
1	10:40	37,30	38,40	1,10	740	779,0	39,00	4599,43	**836,26**	-3763,17	271,20	2,79	2,64	0,01
1	10:45	38,40	38,60	0,20	779	821,0	42,00	836,26	**1254,39**	418,13	280,35	4,18	3,76	0,01
2	10:50	38,60	38,90	0,30	821	833,0	12,00	1254,39	**836,26**	-418,13	287,30	2,79	2,38	0,01
3	10:55	38,90	39,10	0,20	833	862,0	29,00	836,26	**1672,52**	836,26	293,40	5,58	4,68	0,02
4	11:00	39,10	39,50	0,40	862	869,0	7,00	1672,52	**2508,78**	836,26	297,30	8,36	6,79	0,03
5	11:05	39,50	40,10	0,60	869	885,0	16,00	2508,78	**2090,65**	-418,13	303,24	6,97	5,61	0,02
6	11:10	40,10	40,60	0,50	885	904,0	19,00	2090,65	**1254,39**	-836,26	309,51	4,18	3,31	0,01
7	11:15	40,60	40,90	0,30	904	922,0	18,00	1254,39	**2090,65**	836,26	314,08	6,97	5,40	0,02
8	11:20	40,90	41,40	0,50	922	931,0	9,00	2090,65	**2090,65**	0,00	319,34	6,97	5,29	0,02
9	11:25	41,40	41,90	0,50	931	953,0	22,00	2090,65	**1254,39**	-836,26	324,42	4,18	3,14	0,01
10	11:30	41,90	42,20	0,30	953	961,0	8,00	1254,39	**6271,95**	5017,56	326,97	20,91	15,36	0,06
11	11:35	42,20	43,70	1,50	961	968,0	7,00	6271,95	**7108,21**	836,26	331,03	23,69	17,26	0,07
12	11:40	43,70	45,40	1,70	968	985,0	17,00	7108,21	**5435,69**	-1672,52	335,27	18,12	13,10	0,05
13	11:45	45,40	46,70	1,30	985	993,0	8,00	5435,69	**8780,73**	3345,04	337,47	29,27	20,80	0,09
14	11:50	46,70	48,80	2,10	993	998,0	5,00	8780,73	**7944,47**	-836,26	341,03	26,48	18,67	0,08
15	11:55	48,80	50,70	1,90	998	1014,0	16,00	7944,47	**7108,21**	-836,26	344,93	23,69	16,62	0,07
16	12:00	50,70	52,40	1,70	1014	1021,0	7,00	7108,21	**5853,82**	-1254,39	347,64	19,51	13,47	0,06
17	12:05	52,40	53,80	1,40	1021	1030,0	9,00	5853,82	**3763,17**	-2090,65	349,17	12,54	8,60	0,04
18	12:10	53,80	54,70	0,90	1030	1030,0	0,00	3763,17	**5017,56**	1254,39	350,36	16,73	11,37	0,05
19	12:15	54,70	55,90	1,20	1030	1037,0	7,00	5017,56	**7944,47**	2926,91	353,58	26,48	18,00	0,07
20	12:20	55,90	57,80	1,90	1037	1049,0	12,00	7944,47	**7526,34**	-418,13	355,27	25,09	16,93	0,07
21	12:25	57,80	59,60	1,80	1049	1047,0	-2,00	7526,34	**6690,08**	-836,26	355,95	22,30	14,88	0,06
22	12:30	59,60	61,20	1,60	1047	1053,0	6,00	6690,08	**4599,43**	-2090,65	359,00	15,33	10,25	0,04
23	12:35	61,20	62,30	1,10	1053	1065,0	12,00	4599,43	**5017,56**	418,13	366,12	16,73	11,12	0,05
24	12:40	62,30	63,50	1,20	1065	1095,0	30,00	5017,56	**4599,43**	-418,13	369,85	15,33	10,08	0,04
25	12:45	63,50	64,60	1,10	1095	1087,0	-8,00	4599,43	**6271,95**	1672,52	367,14	20,91	13,36	0,06
26	12:50	64,60	66,10	1,50	1087	1079,0	-8,00	6271,95	**5435,69**	-836,26	365,44	18,12	11,67	0,05
27	12:55	66,10	67,40	1,30	1079	1077,0	-2,00	5435,69	**5017,56**	-418,13	362,73	16,73	10,85	0,05
28	13:00	67,40	68,60	1,20	1077	1063,0	-14,00	5017,56	**4181,30**	-836,26	358,66	13,94	9,06	0,04
29	13:05	68,60	69,60	1,00	1063	1053,0	-10,00	4181,30	**5853,82**	1672,52	357,48	19,51	12,85	0,05
30	13:10	69,60	71,00	1,40	1053	1056,0	3,00	5853,82	**4599,43**	-1254,39	359,85	15,33	10,19	0,04
31	13:15	71,00	72,10	1,10	1056	1067,0	11,00	4599,43	**2926,91**	-1672,52	359,51	9,76	6,47	0,03
32	13:20	72,10	72,80	0,70	1067	1054,0	-13,00	2926,91	**4599,43**	1672,52	356,12	15,33	10,06	0,04
33	13:25	72,80	73,90	1,10	1054	1047,0	-7,00	4599,43	**2926,91**	-1672,52	353,58	9,76	6,48	0,03
34	13:30	73,90	74,60	0,70	1047	1039,0	-8,00	2926,91	**3345,04**	418,13	350,53	11,15	7,45	0,03
35	13:35	74,60	75,40	0,80	1039	1029,0	-10,00	3345,04	**3763,17**	418,13	346,46	12,54	8,45	0,04
36	13:40	75,40	76,30	0,90	1029	1015,0	-14,00	3763,17	**2508,78**	-1254,39	340,36	8,36	5,69	0,02
37	13:45	76,30	76,90	0,60	1015	993,0	-22,00	2508,78	**4181,30**	1672,52	331,37	13,94	9,61	0,04
38	13:50	76,90	77,90	1,00	993	962,0	-31,00	4181,30	**2090,65**	-2090,65	324,42	6,97	4,91	0,02
39	13:55	77,90	78,40	0,50	962	952,0	-10,00	2090,65	**2508,78**	418,13	319,00	8,36	6,09	0,03
40	14:00	78,40	79,00	0,60	952	930,0	-22,00	2508,78	**0,00**	-2508,78	157,64	0,00	0,00	0,00

La gráfica, muestra la variación de la potencia normalizada de la cocina tipo caja y su respectiva ecuación pilinómica.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

HOJA DE DATOS DE MONITOREO PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE EQUIPOS SOLAR-TÉRMICOS

Nombre del proyecto: *"Diseño, construcción y análisis funcional-experimental de una cocina solar combinada (parvati – tipo caja) para el Laboratorio de Energías Renovables de la CIEM – UNL".*

Responsables: *Egdo. César Uyaguari Carrión.* **Director:** *Ing. Msc. Thuesman Montaño Peralta.* **Período de monitoreo (hh/min)**

Sector: *Catamayo - Loja - Ecuador* **Fecha: 26** *de Noviembre del 2013.* **Inicio** *10:00* **Fin** *14:00*

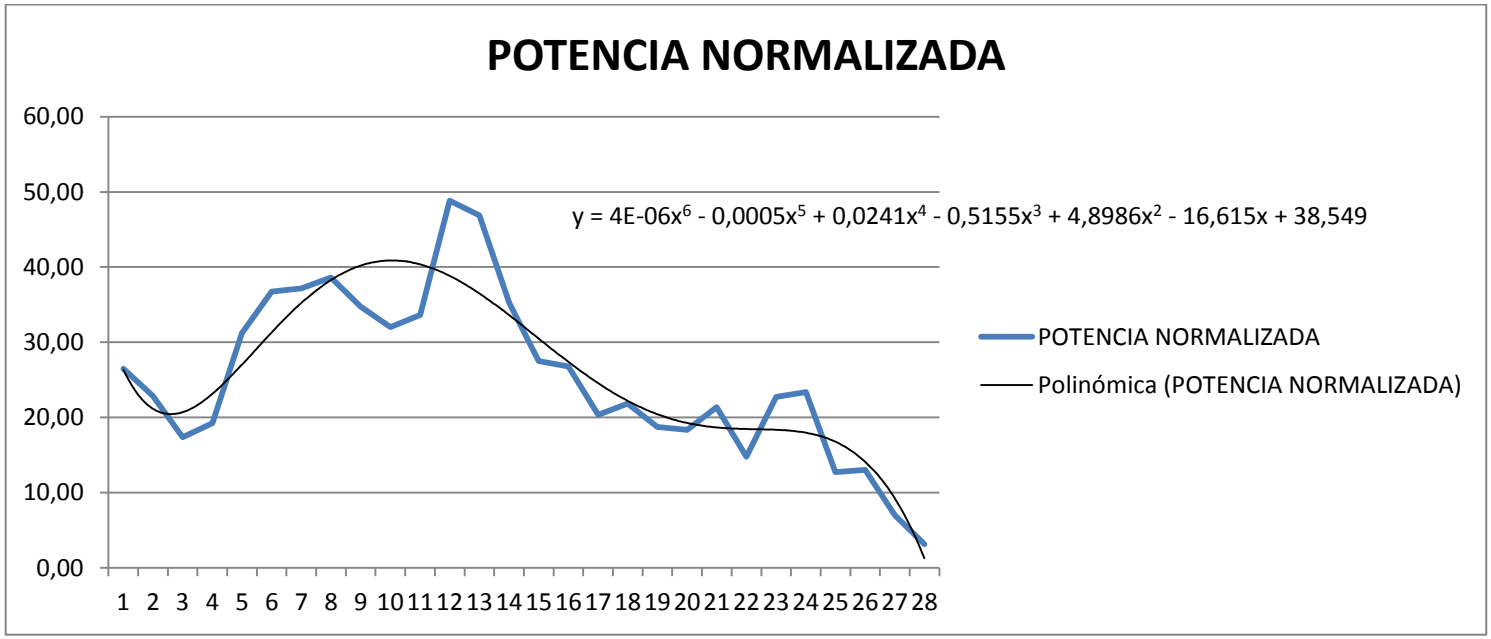
Observaciones: Cocina combinada (Parvati - Tipo Caja)

Datos generales del sector					Datos base del monitoreo				
Altitud	Presión barométrica		Temperatura promedio		Temp. inicio		Temp final		Frecuencia de muestra (min): 5
msnm	KPa	Bar	ºC	ºK	ºC	ºK	ºC	ºK	Masa o volumen de prueba: 1 litro
1200	87	0,870	28	301	33	306	90	363	

Observaciones:

N.-	Hh/min	Temp_i	Temp_(i+1)	ΔT	Rad_i	Rad_(i+1)	Δ(Rad)	Ec_i	Ec_(i+1)	Δ(Ec)	Ei	Es	Ec_nor	Rend
		ºC	ºC	ºC ó ºK	watts/m2	watts/m2	watts/m2	J	J	J	watts	watts	watts	
1	10:00	27,90	29,50	1,60	642	650,0	8,00	6690,08	**7108,21**	418,13	386,41	22,30	24,31	0,06
2	10:05	29,50	31,20	1,70	650	655,0	5,00	7108,21	**5853,82**	-1254,39	391,44	23,69	25,52	0,06
3	10:10	31,20	32,60	1,40	655	667,0	12,00	5853,82	**5435,69**	-418,13	396,48	19,51	20,85	0,05
4	10:15	32,60	33,90	1,30	667	672,0	5,00	5435,69	**8362,60**	2926,91	400,62	18,12	19,02	0,05
5	10:20	33,90	35,90	2,00	672	681,0	9,00	8362,60	**10035,12**	1672,52	408,91	27,88	29,04	0,07
6	10:25	35,90	38,30	2,40	681	700,0	19,00	10035,12	**9616,99**	-418,13	422,83	33,45	34,38	0,08
7	10:30	38,30	40,60	2,30	700	728,0	28,00	9616,99	**10453,25**	836,26	434,67	32,06	32,06	0,07
8	10:35	40,60	43,10	2,50	728	740,0	12,00	10453,25	**10035,12**	-418,13	449,78	34,84	33,50	0,08
9	10:40	43,10	45,50	2,40	740	779,0	39,00	10035,12	**12125,77**	2090,65	473,76	33,45	31,64	0,07
10	10:45	45,50	48,40	2,90	779	821,0	42,00	12125,77	**13380,16**	1254,39	489,75	40,42	36,32	0,08
11	10:50	48,40	51,60	3,20	821	833,0	12,00	13380,16	**27596,58**	14216,42	501,89	44,60	38,03	0,09
12	10:55	51,60	58,20	6,60	833	862,0	29,00	27596,58	**28850,97**	1254,39	512,55	91,99	77,30	0,18
13	11:00	58,20	65,10	6,90	862	869,0	7,00	28850,97	**17561,46**	-11289,51	519,36	96,17	78,10	0,19
14	11:05	65,10	69,30	4,20	869	885,0	16,00	17561,46	**11707,64**	-5853,82	529,72	58,54	47,15	0,11
15	11:10	69,30	72,10	2,80	885	904,0	19,00	11707,64	**13380,16**	1672,52	540,68	39,03	30,87	0,07
16	11:15	72,10	75,30	3,20	904	922,0	18,00	13380,16	**6271,95**	-7108,21	548,67	44,60	34,54	0,08
17	11:20	75,30	76,80	1,50	922	931,0	9,00	6271,95	**9616,99**	3345,04	557,85	20,91	15,87	0,04
18	11:25	76,80	79,10	2,30	931	953,0	22,00	9616,99	**6271,95**	-3345,04	566,74	32,06	24,10	0,06
19	11:30	79,10	80,60	1,50	953	961,0	8,00	6271,95	**9616,99**	3345,04	571,18	20,91	15,36	0,04
20	11:35	80,60	82,90	2,30	961	968,0	7,00	9616,99	**8362,60**	-1254,39	578,28	32,06	23,35	0,06
21	11:40	82,90	84,90	2,00	968	985,0	17,00	8362,60	**6271,95**	-2090,65	585,69	27,88	20,16	0,05
22	11:45	84,90	86,40	1,50	985	993,0	8,00	6271,95	**14634,55**	8362,60	589,54	20,91	14,86	0,04
23	11:50	86,40	89,90	3,50	993	998,0	5,00	14634,55	**13380,16**	-1254,39	595,75	48,78	34,39	0,08
24	11:55	89,90	93,10	3,20	998	1014,0	16,00	13380,16	**8362,60**	-5017,56	602,56	44,60	31,28	0,07
25	12:00	93,10	95,10	2,00	1014	1021,0	7,00	8362,60	**5435,69**	-2926,91	607,30	27,88	19,24	0,05
26	12:05	95,10	96,40	1,30	1021	1030,0	9,00	5435,69	**7108,21**	1672,52	609,97	18,12	12,42	0,03
27	12:10	96,40	98,10	1,70	1030	1030,0	0,00	7108,21	**3345,04**	-3763,17	612,04	23,69	16,10	0,04
28	12:15	98,10	98,90	0,80	1030	1037,0	7,00	3345,04	**-4599,43**	-7944,47	617,66	11,15	7,58	0,02
29	12:20	98,90	97,80	-1,10	1037	1049,0	12,00	-4599,43	**-6690,08**	-2090,65	620,63	-15,33	-10,35	-0,02
30	12:25	97,80	96,20	-1,60	1049	1047,0	-2,00	-6690,08	**-4599,43**	2090,65	621,81	-22,30	-14,88	-0,04
31	12:30	96,20	95,10	-1,10	1047	1053,0	6,00	-4599,43	**1254,39**	5853,82	627,14	-15,33	-10,25	-0,02
32	12:35	95,10	95,40	0,30	1053	1065,0	12,00	1254,39	**3345,04**	2090,65	639,58	4,18	2,78	0,01
33	12:40	95,40	96,20	0,80	1065	1095,0	30,00	3345,04	**836,26**	-2508,78	646,09	11,15	7,33	0,02
34	12:45	96,20	96,40	0,20	1095	1087,0	-8,00	836,26	**418,13**	-418,13	641,35	2,79	1,78	0,00
35	12:50	96,40	96,50	0,10	1087	1079,0	-8,00	418,13	**418,13**	0,00	638,39	1,39	0,90	0,00
36	12:55	96,50	96,60	0,10	1079	1077,0	-2,00	418,13	**-418,13**	-836,26	633,65	1,39	0,90	0,00
37	13:00	96,60	96,50	-0,10	1077	1063,0	-14,00	-418,13	**418,13**	836,26	626,55	-1,39	-0,91	0,00
38	13:05	96,50	96,60	0,10	1063	1053,0	-10,00	418,13	**-836,26**	-1254,39	624,47	1,39	0,92	0,00
39	13:10	96,60	96,40	-0,20	1053	1056,0	3,00	-836,26	**0,00**	836,26	628,62	-2,79	-1,85	0,00
40	13:15	96,40	96,40	0,00	1056	1067,0	11,00	0,00	**418,13**	418,13	628,03	0,00	0,00	0,00
41	13:20	96,40	96,50	0,10	1067	1054,0	-13,00	418,13	**836,26**	418,13	622,11	1,39	0,91	0,00
42	13:25	96,50	96,70	0,20	1054	1047,0	-7,00	836,26	**836,26**	0,00	617,66	2,79	1,85	0,00
43	13:30	96,70	96,90	0,20	1047	1039,0	-8,00	836,26	**-1672,52**	-2508,78	612,33	2,79	1,86	0,00
44	13:35	96,90	96,50	-0,40	1039	1029,0	-10,00	-1672,52	**418,13**	2090,65	605,23	-5,58	-3,76	-0,01
45	13:40	96,50	96,60	0,10	1029	1015,0	-14,00	418,13	**-836,26**	-1254,39	594,57	1,39	0,95	0,00
46	13:45	96,60	96,40	-0,20	1015	993,0	-22,00	-836,26	**-418,13**	418,13	578,88	-2,79	-1,92	0,00
47	13:50	96,40	96,30	-0,10	993	962,0	-31,00	-418,13	**-418,13**	0,00	566,74	-1,39	-0,98	0,00
48	13:55	96,30	96,20	-0,10	962	952,0	-10,00	-418,13	**-418,13**	0,00	557,26	-1,39	-1,01	0,00
49	14:00	96,20	96,10	-0,10	952	930,0	-22,00	-418,13	**0,00**	418,13	275,37	-1,39	-1,02	-0,01

La gráfica, muestra la variación de la potencia normalizada de la cocina (Parvati - tipo caja) y su respectiva ecuación pilinómica.



ANEXO 7

CONSTANTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS.

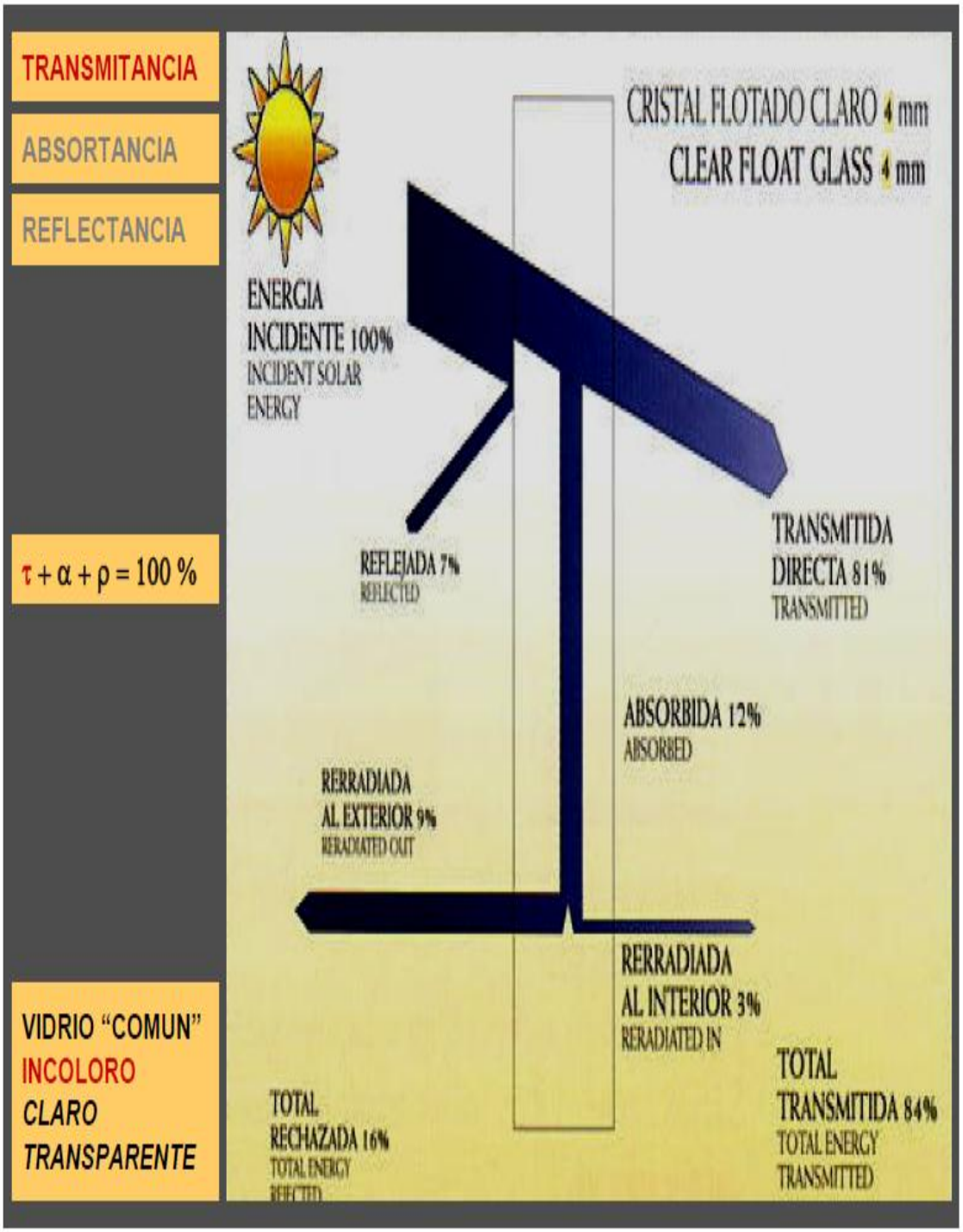


Tabla 3–1 Valores aproximados de la absorbancia de distintas superficies a las temperaturas ambiente y de la radiación solar.

Material	α (25°C)	α (5800 K)
Superficies negras no metálicas (asfalto, carbón, pizarra, pintura, papel).	0,90 – 0,98	0,85 – 0,98
Aluminio níquel o cromo muy pulido, papel de aluminio.	0,02 – 0,04	0,10 – 0,40
Cobre o bronce pulido	0,02 – 0,05	0,3 – 0,5
Cobre, latón o aluminio sin pulir, acero galvanizado, hierro pulido.	0,2 – 0,3	0,4 – 0,56
Cobre oxidado	0,8	0,65
Ladrillo y piedra amarillos, ladrillo refractario.	0,85 – 0,95	0,50 – 0,70
Ladrillo y cerámicas rojas, hormigón, piedra, hierro y acero oxidados y pinturas oscuras (rojo, marrón, verde)	0,85 – 0,95	0,65 – 0,70
Ladrillo, cerámica y piedra blancos, papel, yeso, escayola, cal,	0,85 – 0,95	0,30 – 0,50
Pintura blanca	0,9 – 0,95	0,12 – 0,16
Pintura brillante dorada, de bronce o de aluminio	0,2 – 0,3	0,3 – 0,5
Vidrio común de ventana	0,90 – 0,95	Transparente

En la tabla 3–1 se dan algunos valores aproximados de la absorbancia para distintas superficies para la radiación cuya temperatura de color es la temperatura ambiente ($\approx 25°C, \lambda \approx 10\mu m$) y para radiación de temperatura de color la de la radiación solar ($\approx 5800\,K, \lambda \approx 0{,}5\mu m$). De acuerdo con la Ley de Kirchoff, éstos valores serían los correspondientes a la emisividad de las superficies a estas temperaturas, en el supuesto de que los materiales las

Tabla I.1.- Conductancias interfaciales de algunos materiales a presiones moderadas

Interface	h_i, W/m^{2}ºK
Cerámica-cerámica	500-3000
Cerámica-metal	1500-8500
Grafito metal	3000-6000
Acero inoxidable-acero inoxidable	1700-3700
Aluminio-aluminio	2200-12000
Acero inoxidable-aluminio	3000-4500
Cobre-cobre	10000-25000
Hierro-aluminio	4000-40000

Tabla I.2.- Conductividad térmica de algunos materiales

Material	k (W/mºK), a 300ºK
Cobre	386
Aluminio	204
Vidrio	0,75
Plástico	0,2-0,3
Agua	0,6
Aceite de motores	0,15
Freón (líquido)	0,07
Aire	0,026

Tabla 1–1 Conductividades térmicas para diversos materiales.

Material	λ (cal/cm·s·°C)	λ (W/m°C)
Acero al carbono	0,11	46,05
Acero cromo-níquel (18 % cromo, 8 % níquel)	0,039	16,3
Agua	0,00143	0,598
Aire a 0°C	0,000055	0,023
Alúmina (Al_2O_3)	0,0016 – 0,0084	0,67 – 3,5
Aluminio	0,480	200,9
Amianto (suelto)	0,0004	0,167
Hormigón 20 – 1000°C	0,0027	1,13
Cobre	0,96	401
Corcho	0,00012	0,05
Hierro (sin tratar)	0,175	73
Ladrillo refractario 0 – 800°C	0,004	1,67
Lana de vidrio	$9{,}01 \cdot 10^{-5}$	0,038
Madera de pino		
Según fibra	$8{,}2 \cdot 10^{-4}$	0,34
Perp. a fibra	$2{,}6 \cdot 10^{-4}$	0,11
Vidrio (ventana)	$1{,}86 \cdot 10^{-3}$	0,78

Tabla I.5.- Valores aproximados de coeficientes de transmisión de calor por convección

Tipo de convección y fluido	h_c (W/m^2°K)
Convección natural, aire	5-25
Convección natural, agua	20-100
Convección forzada, aire	10-200
Convección forzada agua	50-10.000
Agua en ebullición	3.000-100.000
Vapor de agua en condensación	5.000-100.000