

# DISEÑOS DE COCINAS SOLARES TIPO HORNO PARA LA APLICACIÓN EN SECTORES RURALES DEL ECUADOR.

E.Delgado,<sup>1</sup>; J.Peralta,<sup>2</sup>; A.Barriga<sup>3</sup>, V.Guerrero.<sup>4</sup>

<sup>123</sup> Centro de desarrollo tecnologico sustentable – Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil, guayas, Ecuador [eadelgad@espol.edu.ec](mailto:eadelgad@espol.edu.ec); [jperal@espol.edu.ec](mailto:jperal@espol.edu.ec); [abarriga@espol.edu.ec](mailto:abarriga@espol.edu.ec)

<sup>4</sup> Escuela Politecnica Nacional ,Quito, Pichincha, Ecuador , [guerrero@server.epn.edu.ec](mailto:guerrero@server.epn.edu.ec)

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación esta siendo ejecutado actualmente con financiamiento de Senacyt “PIC-210” en el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS FIMCP) perteneciente a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, el cual se trata del diseño y construcción de equipos que trabajen usando radiación solar (cocina Solar) esto debido a que en nuestro país la falta de recursos tecnológicos en los sectores rurales obligan a buscar y desarrollar sistemas, que ayuden a mejorar la situación económica, social y el bienestar general de la población.

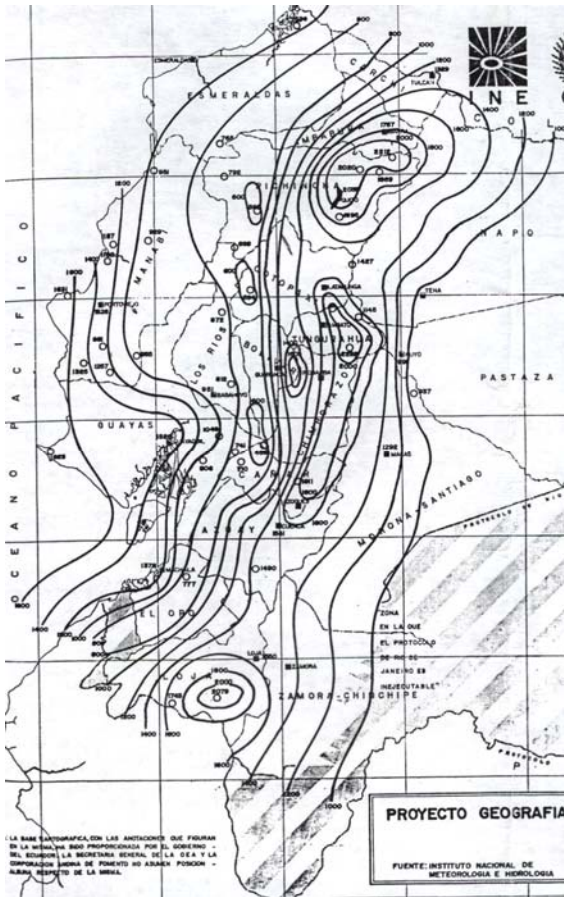
El diseño y construcción de las cocinas solares se lo realizo conociendo inicialmente las condiciones climatológicas, coordenadas ( longitud y latitud) de un punto del país; además se evaluó y selecciono diferentes tipos de materiales que estén en capacidad de cumplir con las mejores características y propiedades termodinámicas (absorber y almacenar por mayor tiempo la energía calorífica generada por la radiación solar a través de un acumulador de calor); permitiendo una mayor eficiencia en la cocción de los alimentos al lograr temperatura mayores a los 100°C. Conjuntamente se evaluaron técnicas de construcción y montaje que permitan que la fabricación de la misma sea de bajo costo. De esta manera por medio de la difusión y aplicación de estos sistemas, tratamos de contribuir en parte para el desarrollo y beneficio de las comunidades rurales.

**Palabras claves:** irradiación, coordenadas, calor, isohelias.

## INTRODUCCION

Siendo el Ecuador un país con gran potencial energético sostenible y al estar ubicado geográficamente en el centro de la tierra; Tiene la ventaja de abracar zonas en que la energía solar puede tener buena perspectivas de aplicación por su alta radiación, fluctuando entre los 1000 – 2000 Wat.h/ m<sup>2</sup> día. Las zonas

de mayor isohelias se encuentran localizadas en las provincias de Pichincha, Imbabura, Cañar, Chimborazo, Loja, Esmeraldas, Manabí, Guayas y las Islas Galápagos <sup>1</sup>. La energía solar es un tipo de energía limpia y renovable por lo cual se recomienda su uso a nivel mundial.



**Figura 1. Isohelias Anuales del Ecuador INE**

Los objetivos principales de esta investigación son:

- ✓ Identificar un diseño óptimo de cocinas solares acorde a las exigencias ambientales, a las características geográficas, técnicas, económicas y sociales en nuestro medio.
- ✓ Fomentar la aplicación de la energía limpia o renovable.
- ✓ Establecer eficiencias térmicas de cocinas solares en base a los diseños optimizados.

Dentro de las cocinas solares las más conocida y de fácil construcción son las de tipo caja u horno, que es una cámara aislada con un cubierta en la parte superior a través de la que penetra la radiación que es absorbida por un cuerpo negro convirtiéndose en energía calorífica, usando un cierto numero de espejos planos o un reflector parabólico. Dentro de

nuestra investigación se busca desarrollar modelos que puedan mejorar las condiciones de funcionamiento térmico y óptico (reflexión y refracción) a través de una correcta selección de los materiales (vidrio, espejos, aluminio, cobre, madera, aislantes, etc.).

Las pérdidas térmicas en la cocción de un alimento ocurren por vapor que abandonan al alimento, convección desde la superficie del recipiente, conducción a través de la parte inferior del recipiente a la placa absorbente y radiación entre las cubiertas (vidrio) y el ambiente. Pero la mayor perdida de calor se presenta a la evaporación del agua.

## MATERIALES

Las superficies receptoras de las cocinas solares se suelen hacer de chapa metálica, de hierro, cobre o aluminio, para obtener una buena conductividad. Se ennegrecen con pintura negra para absorber la radiación transmita su calor a el fluido. Para reducir las pérdidas caloríficas y elevar la temperatura de trabajo del cajón se utiliza dos láminas de vidrios encima de la superficie receptora, creando un recipiente hermético.

Así mismo para evitar pérdidas se utiliza lana de vidrio en las paredes del colector.

## METODOS

### 1. Altura solar o ángulo de elevación

Como se conoce la tierra tiene una breve inclinación con respecto al plano del Ecuador con un ángulo de  $23^{\circ}45'$  y ello hace que sobre un punto determinado de la Tierra los rayos del Sol caigan unas veces más perpendicularmente que en otros y, por lo tanto, que la radiación incidente sobre la misma sea diferente. La Tierra recibe en el exterior de su atmósfera una constante solar de  $G_c = 1,367 \text{ W/m}^2$ , y cuyo valor fluctúa en un  $\pm 3\%$  debido a la variación periódica de la distancia entre la Tierra y el Sol.

Para calcular la radiación solar incidente sobre una superficie que tiene una determinada inclinación y orientación, es necesario definir algunos parámetros, términos y ecuaciones utilizadas para la región costa y sierra:

## 1.1 Parámetros

### Punto de localización Costa (ESPOL)

Latitud  $\theta = 2^{\circ}08'45.99''$  sur

Longitud =  $79^{\circ}57'51.096''$  Oeste

Altura = 110.036 metros

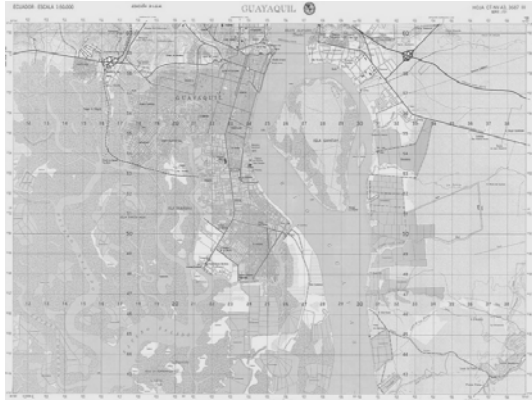


Figura 2. Mapa de localización de Guayaquil

### Punto de localización Sierra (EPN)

Latitud  $\theta = 0^{\circ}20'0.10''$

Longitud =  $78^{\circ}45'00''$



Figura 3. Mapa de localización de Quito

## 1.2 Términos y ecuaciones

- *Declinación solar del día  $\delta$* : Es la posición angular del Sol al mediodía solar, respecto al plano del Ecuador terrestre; el valor de este ángulo se suele tomar cada día al mediodía solar

$$\delta = 23.45^{\circ} \sin \left[ 360^{\circ} \frac{(284 + n)}{365} \right]$$

Ecuación 1.1

Donde n es día medio del mes n = 17, 47, 75, 105, etc.

- *Ángulo Zenital  $\theta$ s*; es el ángulo que forma la radiación directa del Sol y la vertical del lugar, en un punto cualquiera de la Tierra. Este ángulo varía continuamente a lo largo del día (  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$   $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$   $90^{\circ}$ ).

- *El ángulo horario  $\omega$* ; es el desplazamiento angular del Sol, respecto al mediodía, que es el instante en que el Sol se encuentra más alto en el cielo y se corresponde con un ángulo cenital solar mínimo, es decir, con un ángulo horario igual a 0. Cada hora es igual a  $15^{\circ}$  de longitud, tomando un valor (+) por las mañanas y (-) por las tardes.

- *La altura solar o ángulo de elevación  $\alpha$* ; por encima del horizonte es importante por que a mayores alturas solares, la radiación recorre una distancia más corta al atravesar la atmósfera, mientras que para alturas solares más bajas, la radiación procedente del Sol es forzada a recorrer una masa de aire mucho mayor,  $m > 1$ .

$$\cos z = \sin \alpha = \sin \delta \cdot \sin \theta + \cos \delta \cdot \cos \theta \cdot \cos \omega \quad \text{Ecuación 1.2}$$

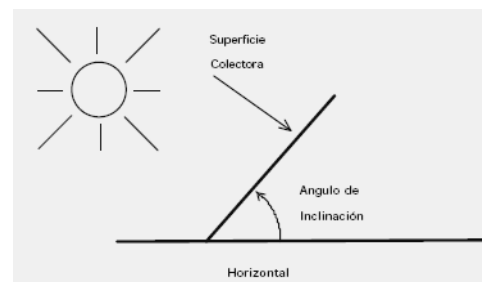
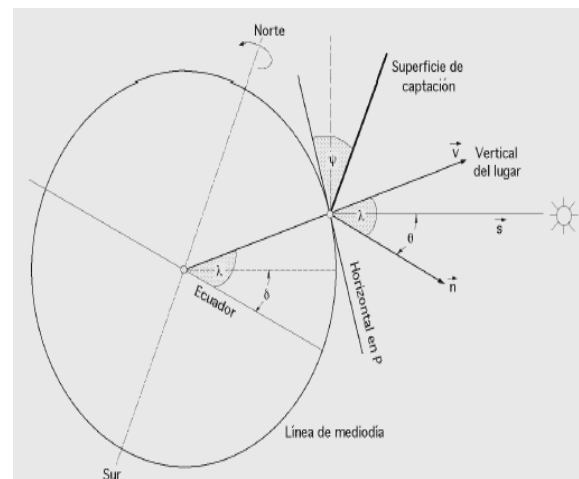


Figura 4. Ángulo de elevación

- *El ángulo azimutal o posición del Sol  $\sigma$* , es el ángulo que forma la componente horizontal de la radiación solar directa, con la dirección Norte-Sur, en el hemisferio norte.

$$\sin \sigma = \frac{\cos \delta}{\cos \alpha} \cdot \sin \omega \quad \text{Ecuación 1.3}$$



**Figura 5. Situación espacial de diversos ángulos**  
**2. Balance energético**

Mediante un balance energético se puede hallar la distribución de la energía solar incidente sobre la cocina, su transformación en energía útil y las pérdidas térmicas.

$$A \cdot k \cdot \tau_s \cdot \alpha_{sp} \cdot = Q_u \cdot + q_{perd} \cdot + q_{almacenada} \cdot$$

- A Área de superficie del colector,
- k factor de conversión de la radiación (difusa y directa),
- $\tau_s$  Transmitancia solar efectiva de la cubierta del colector
- $\alpha_{sp}$  Absortancia solar de la placa absorbente del colector
- $Q_u$  Calor útil que se transfiere al fluido
- $q_{perd}$  Cantidad de calor perdido desde la placa absorbente del colector al medio exterior, tanto por convección, conducción y radiación.
- $q_{alm}$  Energía almacenada en el colector

**2.1 Perdidas de calor**

Las perdidas se puede obtener en función del coeficiente global de transmisión de calor  $U_c$ , del área del colector A, y de diferencias de temperatura entre la placa y la temperatura ambiente.

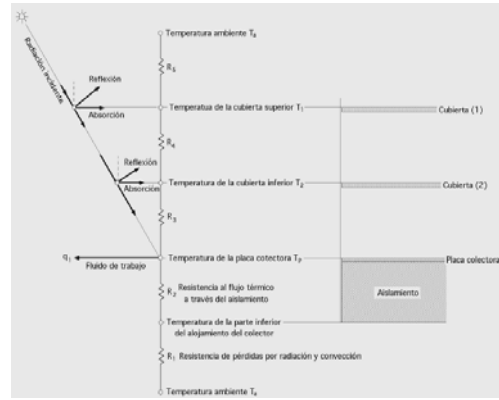
Siendo:

$$q_{perd} = U_c \cdot A \cdot (T_p - T_a)$$

Para el análisis térmico de la cocina se pueden considerar las siguientes condiciones:

- Esta térmicamente aislado, estado estable
- No existe diferencia de temperatura entre la superficie inferior y superior de la placa
- El flujo de calor por las cubiertas y el fondo del colector es unidimensional
- La energía incidente es uniforme en todo el colector
- El cielo se puede considerar como una fuente térmica equivalente a un cuerpo negro

La distribución de temperaturas sobre el colector se puede representar mediante el circuito térmico.



**Figura 6. Circuito térmico equivalente del colector**

$$U_c = U_{superficie} + U_{fondo} + U_{paredes}$$

$$U_c = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3 + R_4 + R_5} + \frac{1}{R_{pl} + R_{p2} + R_{p3} + R_{p4}}$$

**Perdidas entre la placa a la cubierta 2**

$$q_{perd(p-2)} = A \cdot h_{c(p-2)} \cdot (T_p - T_2) + \frac{\sigma (T_p^4 - T_2^4) A}{\frac{1}{\epsilon_{pi}} + \frac{1}{\epsilon_{2i}} - 1}$$

$$q_{perd(p-2)} = A(h_{c(p-2)} + h_{r(p-2)})(T_p - T_2) = \frac{T_p - T_2}{R_3}$$

$$q_{perd(p-2)} = \frac{T_p - T_2}{\frac{1}{A(h_{c(p-2)} + h_{r(p-2)})}}$$

Donde;

$$h_{r(p-2)} = \frac{\sigma (T_p^2 + T_2^2) (T_p + T_2)}{\frac{1}{\epsilon_{pi}} + \frac{1}{\epsilon_{2i}} - 1}$$

$$h_{c(p-2)} = \frac{Nu_{ul} \cdot k}{L}, \text{ para placas horizontal con flujo de calor ascendente } 10^4 < Re < 10^7, Nu = 0.152 \cdot (Re)^{0.281}$$

**Perdidas entre las cubiertas 2- cubierta 1**

$$q_{perd(2-1)} = A(h_{c(2-1)} + h_{r(2-1)})(T_2 - T_1) = \frac{T_2 - T_1}{R_4}$$

Siendo;

$$h_{r(2-1)} = \frac{\sigma (T_1^2 + T_2^2) (T_1 + T_2)}{\frac{1}{\epsilon_{1i}} + \frac{1}{\epsilon_{2i}} - 1}$$

$$hc_{(2-1)} = \frac{N_{ul} \cdot k}{L}$$

### Perdidas entre la cubierta 1 y el ambiente

$$q_{perd(1-\infty)} = A(h_{c(1-\infty)} + h_{r(1-\infty)})(T_1 - T_\infty) = \frac{T_1 - T_\infty}{R_s}$$

Siendo;

$$h_{r(1-\infty)} = \epsilon_{ii} \cdot \sigma \cdot (T_1 + T_{firm}) \cdot (T_1^2 + T_{firm}^2) \frac{(T_1 - T_{firm})}{(T_1 - T_a)}$$

$$hc_{(1-\infty)} = \frac{0.664 \cdot \left( \frac{V_{eloc} \cdot L}{\nu} \right)^{1/2} \cdot Pr^{1/3} \cdot k}{L}$$

### Perdidas en las paredes

$$q_{perd(p-\infty)} = A_{lateral} U_{pared} (T_p - T_\infty) = \frac{T_p - T_\infty}{R_{pared}}$$

$$q_{perd(p-\infty)} = \frac{T_p - T_\infty}{\frac{e}{k * Altura * perimetro}}$$

### Perdidas por el flujo térmico a través del aislamiento ( parte inferior)

$$q_{perd(p-inf)} = A_{inferior} U(T_p - T_{inf}) = \frac{T_p - T_{inf}}{R_2}$$

$$q_{perd(p-inf)} = \frac{T_p - T_{inf}}{\frac{e}{k * A_{inferior}}}$$

Se considera que es sistema se encuentra aislado por lo tanto  $R_1=0$

### 2.2 Calor útil.

Para determinar el calor útil en el acumulador de calor que es la pieza clave para conservar la energía por un tiempo mas largo, se procede a utilizar la siguiente ecuación

$$Q_u = \frac{T_b - T_{fluido}}{\frac{1}{h_{flu} \cdot (\pi d_{ex} \cdot a)} + \frac{e}{k_b \cdot L}}$$

Donde;

$T_b$ , temperatura entre la placa y el tubo  
e espesor

L longitud

a anchura

### 2.3 Energía almacenada

Como la temperatura del fluido aumenta en la dirección del flujo a medida que se va suministrando calor por consiguiente la ganancia total o energía almacenada esta dada por:

$$q_{alma} = A_{col} \cdot F_r (I_s \alpha - U_c \cdot (T_F - T_a))$$

Para captadores con caja, aislamiento y dos cubiertas transparentes

$$0,7 < F_r I_s \alpha < 0,8 \quad ; \quad 4 < F_r U_c < 6, \quad (W/^{\circ}C \text{ cm}^2)$$



Figura 7. Prototipo de Cocina Tipo Horno

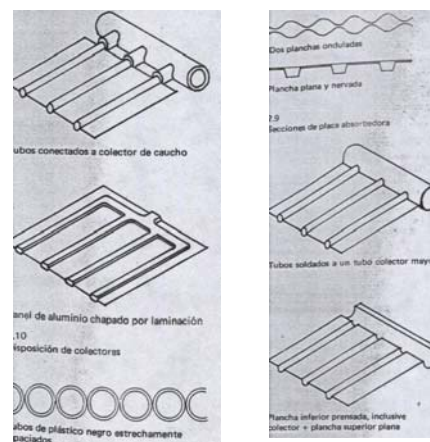


Figura 7. Acumuladores de calor

### 2.4 Eficiencia térmica

La eficiencia  $\eta$  del colector se obtiene de la siguiente forma:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_{col} I_s}$$

### 3. Incidencia y reflexión

Para buscar la mayor refracción entre el aire y las placas de vidrio se optó en buscar un mejor ángulo en las aletas utilizando el método óptico geométrico.

Una vez calculado el ángulo de inclinación o elevación de la cocina solar se procede a estimar las posiciones de los paneles de reflexión solar los cuales tiene como función desviar los rayos de luz a la placa de vidrio en un ángulo determinado, el cual se caracteriza por permitir los valores de reflectancia baja, que significa que a menor valores de esta parámetro es mejor el rendimiento térmico del colección de la placa de vidrio por el aumento de la transmitancia.

Donde;

$$t + r + a = 1$$

t transmitancia

r reflectancia

a absortancia ,

Los cuales están en función de la longitud de onda, del ángulo de incidencia de la radiación, del índice de refracción y del coeficiente de extinción del material.

## RESULTADOS

- 1) Se obtuvo la posición angular del Sol al mediodía solar, respecto al plano del Ecuador terrestre; para ciertos días intermedios del año, estos se presenta a continuación:

Tabla 1. posición angular del sol

n	SENO ( a )	
	-	-
31	0,75830581	17,78227121
	-	-
59	0,36972454	8,670040531
90	0,15430882	3,618541845
120	0,62204675	14,58699625
151	0,93383723	21,89848302
<b>181</b>	<b>0,98867759</b>	<b>23,18448949</b>
211	0,78564986	18,4234891
242	0,36171373	8,482186986
	-	-
272	-0,1457992	3,418991168

302	-0,6152846	14,42842387
332	0,92429072	21,67461744

- 2) Evaluando una determinada posición tanto en la costa como en la sierra se obtuvo el ángulo de elevación de estos dos posiciones. Con un ángulo horario de 0°, 30°, 90° se obtuvo los siguientes resultados.

Latitud  $\theta = 2^{\circ}08'45.99''$  sur  
(Guayaquil-ESPOL)

Tabla 2. Angulo de elevación en Guayaquil

	Angulo de Elevación
GUAYAQUIL	70,1916288
	79,3038595
	88,4075582
	77,4391037
	70,127617
	<b>68,8416105</b>
	73,6026109
	83,543913
	84,5549088
	73,5454761
	66,2992826
	64,8205556

MEDIA	<b>75,0565104</b>
ELEVA	<b>14,9434896</b>

Latitud  $\theta = 0^{\circ}20'0.10''$   
(Quito-EPN)

Tabla 3. Angulo de elevación de Quito

	Angulo de Elevación
QUITO	71,8843688
	80,9965995
	86,7148182
	75,7463637
	68,434877
	67,1488705
	71,9098709
	81,851173
	86,2476488
	75,2382161
	67,9920226
	66,5132956

MEDIA	<b>75,0565104</b>
ELEVA	<b>14,9434896</b>

3) Para obtener mayor transmisividad entre los vidrios se estableció que el espesor de los mismos sean entre 3 mm. -5 mm, con una separación de separados entre 10-20mm para minimizar la circulación del aire entre ellas y reducir las pérdidas por convección y radiación; obteniendo los siguiente resultados.

**Tabla 4. Pérdidas entre Vidrio 2 – Vidrio 1**

hr4	h4
4,8114	0,086196
6,4629421	0,089511
6,7233746	0,0915
6,8466881	0,092495
6,8784075	0,09349
6,8784075	0,094053

Cuya pérdida de calor es de 14.8 W

4) La eficiencia de los diseños de las Cocina solares obtenidos hasta el momento están alrededor entre el 80% al 86.75 %.

### Mediciones solares.

Para realizar un análisis de las radiación directa presente en las ciudades de Quito y Guayaquil se procedió a la recolección de datos de irradiación durante 5 meses utilizando un piranometro cuya sensibilidad es de 13.77  $\mu\text{V}.\text{m}^2/\text{W}$ ; estos equipos miden la radiación global, directa y difusa, que se recibe en todas direcciones.

La energía radiante del sol que se recibe en el exterior de la atmósfera terrestre es la denominada constante solar y tiene un valor de 1.353  $\text{W}/\text{m}^2$  esta equivale a 4.872  $\text{KJ}/\text{h}.\text{m}^2$

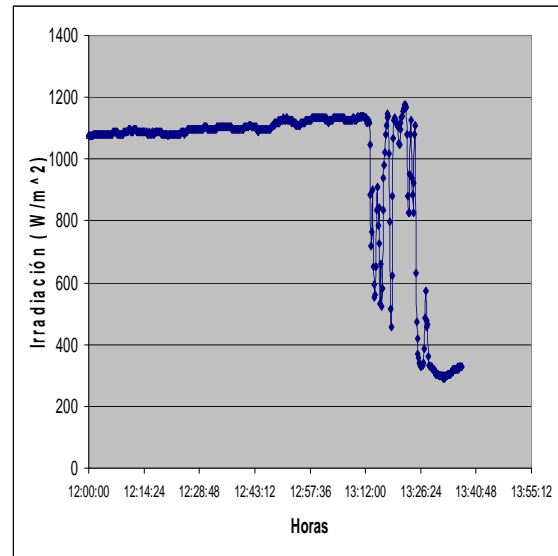
Los valores de irradiación varia obedeciendo a la situación climatológica en función de las estaciones del año.

A continuación se muestran rangos de irradiación generada en determinadas condiciones.

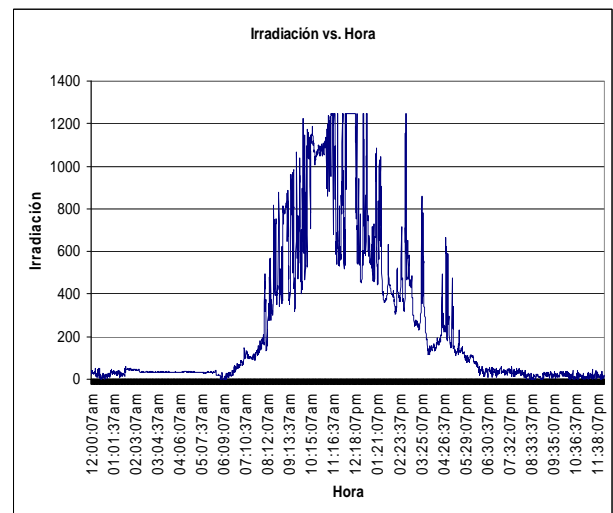
- Totalmente nublado: 50 – 120  $\text{W}/\text{m}^2$
- Parcialmente nublado: 120- 500  $\text{W} / \text{m}^2$
- Despejado: 500 -1000  $\text{W}/ \text{m}^2$

En la grafica N° 1 muestra una secuencia puntual tomada en la ESPOL el día 27 de

Febrero del 2007 desde un intervalo de hora entre las 12 A.m hasta las 14 P.m.



En la grafica N° 2 se muestra una secuencia continua tomada en la Escuela Politécnica Nacional (EPN) el día 24 de marzo de 2007, durante las 24 horas



### DISCUSIÓN

El desarrollo de metodología para el cálculo de los ángulos de inclinación tanto de las placas reflectoras como de la estructura misma de la cocina permitirá evaluar el desarrollo de prototipo que sea mas eficientes en el proceso de captación y permanencia de calor (radiación solar) durante los periodos de cocción y utilización de la mismo.

### CONCLUSIONES

- Se pudo determinar que si existe una variación de la latitud entre  $0^\circ$  y  $3.4^\circ$  el ángulo de elevación permanece a  $15^\circ$ , por consiguiente se puede concluir que para cualquier punto del Ecuador cuya latitud varia entre  $0^\circ$  y  $3^\circ$  el ángulo de inclinación es el mismo.
- Los valores de temperaturas promedios estan  $45^\circ\text{C}$  en días nublados y  $100^\circ\text{C}$  en día despejados, esto se logran utilizando reflectores rectos y parabólicos
- Los Valores de temperaturas oscilan principalmente desde la 10:30 am con  $35^\circ\text{C}$  a las 12:00 con un valor máximo de  $130^\circ\text{C}$  hasta 15:30 con  $80^\circ\text{C}$  en días despejados
- Las perdidas de calor por convección crecen muy rápidamente con la velocidad de viento y con la diferencia de temperatura entre el receptor y el aire.
- Las perdidas por radiaciones crecen con la cuarta potencia de la temperatura, por tanto se vuelven muy grandes a altas temperatura.
- La cubierta doble transparente de vidrio con mínimo contenido de hierro reduce las pérdidas de calor por radiación y convección, obteniendo una absorción de la radiación solar hasta el 6 por ciento.
- La absorción depende del espesor del cristal, para conseguir gran transmisividad el cristal debe ser delgado como sea posible con la resistencia mecánica.
- Este tipo de cocina permite aportar al ahorro no solo energético y económico de las familias que habitan en sectores rurales y son de muy escasos recursos



**Figura 8 Prototipos Construidos**



**Figura 9. Temperatura del Colector Parabólico.**



**Figura 10. Prototipo con reflectores móviles.**

### **Difusión**

Al momento continuamos con los procesos de difusión a nivel de la comunidad con el desarrollo de un boletín técnico informativo, publicación de resultados del proyecto en el web del centro ([www.cdts.espol.edu.ec](http://www.cdts.espol.edu.ec)), además de participación en medios de prensa local

## **PROTOTIPOS**



**Figura 11. Difusión en el Programa Ciencia y Tecnología.**

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1) INE; Geografía Energética del Ecuador; Tomo II, Corporación andina de fomento. Ecuador, 1982.
- 2) FARRINGTON, DANIEL.; uso directo de la energía solar, Quinta edición BLUME, España, 1980
- 3) INCROPERA, FRANK P; DEWITT, DAVID P. Fundamentos de transferencia de calor. Cuarta Edición. PRENTICE HALL, México, 1999.
- 4) IAER, SODEAN; Texto refundido de las especificaciones técnicas de diseño y montaje de instalaciones solares térmicas; Noviembre 1999.
- 5) FERNANDEZ DÍEZ, PEDRO; procesos termosolares en baja, media y alta temperatura; Universidad de Cantabria, España.
- 6) HOWELL,JACK;Cooking with the Sun, III Edición, Halacy, USA, 1992