

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la

Producción

“Diseño de un sistema de seguimiento solar manual para paneles reflectivos de cocinas solares tipo horno”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

MANUEL ANDRÉS LEÓN ROBAYO

GUAYAQUIL - ECUADOR


Año: 2015

AGRADECIMIENTOS

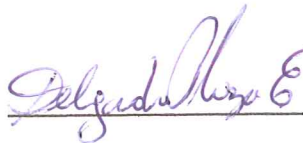
Agradezco a Dios, a mi familia y mis compañeros, ya que gracias a ellos, he podido caminar por una vida estudiantil que me ha dejado grandes enseñanzas en lo profesional y humano, este trabajo no hubiera sido posible sin su apoyo.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente a: Manuel Andrés León Robayo y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Manuel Andrés León R.



Ph.D. Emérita Delgado P.

RESUMEN

El Centro de Desarrollo de Tecnología Sustentable (CDTS) de ESPOL, consciente de la problemática nacional en torno al acceso de energía en sectores rurales y a la constante elevación de costos de combustibles y energía eléctrica, decidió desarrollar sistemas, mecanismos y equipos que ayuden a mejorar la situación económica, social y el bienestar general de la población. Es así que en el año 2006 el CDTS emprendió el diseño de cocinas solares, que permitan a los habitantes de los sectores rurales, acceder al aprovechamiento de esta fuente de energía limpia para la cocción de sus alimentos.

Un horno solar construido y diseñado por el CTDS, consistía de una caja aislada, con tapa de vidrio con cuatros paneles reflectantes eran fijos, por tanto no podían seguir el movimiento aparente del sol, por esta razón en el presente trabajo se propone el diseño y construcción de un seguidor solar manual, dispositivo que permite un mejor aprovechamiento e incidencia de la irradiación solar dentro del horno. Con la adaptación del seguidor a estos prototipos, se consigue que el usuario pueda ajustar adecuadamente el ángulo de los paneles, en relación al ángulo de incidencia del sol durante el día.

Para ello se desarrollaron varias pruebas experimentales con la finalidad de evaluar; el comportamiento del horno, tiempo de cocción, tipo de alimento y determinar el mejor ajuste de los paneles reflectantes y por último la eficiencia del prototipo.

Como resultado, se ha podido establecer la condición óptima de funcionamiento de la cocina a través del ángulo de incidencia variante con el tiempo.

Palabras Clave: Cocina solar, seguidor solar, paneles reflectantes, cocción, alimentos

ABSTRACT

The Centre for Sustainable Development Technology (CDTS) of ESPOL, aware of national issues around access to energy in rural areas and the constant rise in fuel costs and electricity, decided to develop systems, mechanisms and equipment to help improve economic, social situation and the general welfare of the population. Thus in 2006 the CDTS undertook the design of solar cookers, which allow the inhabitants of rural areas, allow the use of this clean energy source for cooking food.

A solar furnace built and designed by CTDS consisted of an insulated box with glass lid with four reflective panels, so it could not follow the apparent movement of the sun, which is why in this paper we propose the design and Construction of a manual solar tracker device that allows better use of solar radiation inside the oven. By adapting the solar tracker to these prototypes allow the user to properly adjust the angle of the panels in relation to the angle of incidence of the sun during the day.

To do this several experimental tests were developed in order to evaluate; behavior with this follower oven, cooking time, type of food and determine the best fit of the reflecting panels and finally the efficiency of the prototype.

As a result, it has been possible to establish the optimum operating condition of the kitchen through variation of the angle of incidence over time.

Keyword: solar cooker, solar tracker, reflective plates, cooking, food.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE PLANOS	IX
CAPITULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3. MARCO TEORICO	4
1.3.1. RADIACIÓN SOLAR Y ÁNGULOS DE INCIDENCIA.....	4
1.3.2. COCINAS SOLARES.....	7
1.3.3. PANELES REFLECTANTES	8
1.3.4. SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR.....	9
CAPÍTULO 2	10
2. METODOLOGIA DE DISEÑO	10
2.1. DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	11
2.2. ELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE DISEÑO.....	13
2.3. DESARROLLO DE LA SOLUCION DE DISEÑO.....	14
2.4. PRUEBAS EXPERIMENTALES	19
CAPÍTULO 3	34
3. RESULTADOS	34
3.1. ÁNGULOS DE INCIDENCIA E INTERVALO DE AJUSTE DE PANELES	34
3.2. TEMPERATURAS DE COCCIÓN	34
3.3. TIEMPO DE COCCIÓN	35
3.4. EFICIENCIA DE LA COCINA SOLAR.....	45
3.5. ANÁLISIS DE COSTOS DEL DISEÑO	46
	III

CAPÍTULO 4	47
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
4.1. CONCLUSIONES	47
4.2. RECOMENDACIONES.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXOS	50
Anexo A	51
Tablas de datos experimentales.....	51
Anexo B	54
Planos de piezas.....	54

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

ASTM American Society for Testing and Materials

CDTS Centro de desarrollo de tecnología sustentable

SIMBOLOGÍA

Mil	Milésima de pulgada
Mg	Miligramo
m	Metro
mV	Milivoltio
Al	Aluminio
Kg	Kilogramo
Kj	Kilojoule
W	Watts
°	Grados angulares
°C	Grados centígrados
M	Rosca métrica comercial

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Radiación solar en la tierra.....	4
Figura 1.2: Coordenadas Altacimutales.....	5
Figura 1.3: Irradiación Solar.....	6
Figura 1.4: Cocina solar de concentración.....	7
Figura 1.5: Cocina solar tipo horno.....	7
Figura 1.6: Angulo de Incidencia y reflejado.....	8
Figura 2.1: Esquema orientación placas reflectantes.....	11
Figura 2.2: Esquema inicial de seguidor solar manual.....	12
Figura 2.3: Foto de Marco, pomo regulador y casquillo oscilante.....	14
Figura 2.4: Plano del casquillo guía oscilante.....	15
Figura 2.5: Plano de la manija pomo regulador.....	15
Figura 2.6: Plano del eje regulador.....	16
Figura 2.7: Plano de los ejes de paneles Norte y Sur.....	16
Figura 2.8: Soporte lateral y eje lateral.....	17
Figura 2.9: Plano de marco de soporte.....	17
Figura 2.10: Planos de los soportes.....	18
Figura 2.11: Plano de la manija pomo regulador.....	15
Figura 2.12: Termopar Tipo K.....	19
Figura 2.13: Piranómetro Keep Zone CMP3.....	21
Figura 2.14: Foto ubicación termopares en horno.....	22
Figura 2.15: Posición espacial del sol.....	24
Figura 2.16: Situación espacial de diversos ángulos.....	25
Figura 2.17: Variación de altura solar en Solsticios.....	26
Figura 2.18: Altura solar para distintos meses.....	27
Figura 2.19: Esquema geométrico para paneles Este-Oeste.....	28
Figura 2.20: Ley de Snell.....	29
Figura 2.21: Reflectancia entre dos placa de vidrio.....	30
Figura 2.22: Transmitancia vs Ángulo del panel Este.....	31
Figura 2.23: Transmitancia vs Ángulo del panel Oeste.....	32
Figura 2.24: Esquema de ajuste de paneles.....	33
Figura 3.1: Temperatura de Olla, radiación Vs. Tiempo.....	40
Figura 3.2: Temperatura de Piso y aire interior Vs. Tiempo.....	40
Figura 3.3: Temperatura de Olla, radiación Vs. Tiempo.....	41
Figura 3.4: Temperatura de Piso y aire interior Vs. Tiempo.....	41
Figura 3.5: Temperatura de Olla, radiación Vs. Tiempo.....	42
Figura 3.6: Temperatura de Piso y aire interior Vs. Tiempo.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Propiedades de algunos termopares.....	20
Tabla 2.2 Ubicación de termopares en horno.....	22
Tabla 2.3: Ángulo declinación solar y altura solar.....	26
Tabla 2.4: Relaciones angulares.	29
Tabla 2.5: Ángulos y transmitancia panel este.....	31
Tabla 2.6: Ángulos y transmitancia panel oeste.....	32
Tabla 2.7: Ajuste de paneles para mejor transmitancia.....	33
Tabla 3.1: Temperatura de cocción para algunos alimentos.....	35
Tabla 3.2: Tiempo de cocción verduras.....	36
Tabla 3.3: Tiempo de cocción para carnes.....	36
Tabla 3.4: Tiempo de cocción para pescado.....	37
Tabla 3.5: Tabla de datos experimentales.....	38
Tabla 3.6: Eficiencia del horno.....	46
Tabla 3.7: Costo de materiales y mano de obra.....	46

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 CASQUILLO GUÍA OSCILANTE.....	55
PLANO 2 MANIJA POMO REGULADOR.....	56
PLANO 3 EJE REGULADOR.....	57
PLANO 4 EJE LATERAL (ESTE).....	58
PLANO 5 EJE LATERAL (OESTE).....	59
PLANO 6 MARCO PRINCIPAL.....	60
PLANO 7 SOPORTE PANEL FRONTAL (NORTE).....	61
PLANO 8 SOPORTE PANEL POSTERIOR (SUR).....	62

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los diversos acontecimientos a nivel mundial, en torno a temas energéticos, tales como la gran demanda de combustibles fósiles, el calentamiento global, los costos en aumento del acceso a la energía y la contaminación han motivado a una nueva generación de ingenieros a orientar sus esfuerzos al desarrollo de alternativas energéticas sustentables, que permitan a la población acceder a fuentes de energía limpia y de bajo costo.

En zonas rurales la energía utilizada para cocinar se obtiene mediante el uso de Gas Licuado de Petróleo (GLP) ó biomasa (leña seca). Las cuales en menor y mayor medida son de difícil acceso, por un lado los distribuidores de GLP se encuentran a grandes distancias de estas comunidades, lo que incrementa el costo del cilindro debido al transporte, por otro lado la obtención de leña seca cada vez es más complicada y representa un factor de impacto negativo al ecosistema.

Ante la necesidad de suplir con la demanda de energía para la cocción de alimentos en dichas zonas, se han propuesto varios diseños de cocinas solares que no cumplen las expectativas de la comunidad por su continua manipulación y tiempo de cocción del alimento. Para ello se ha propuesto diseñar y construir un seguidor manual solar que permita a un usuario de cocina solar tipo horno, ajustar el ángulo de inclinación de los paneles reflectantes durante el día y así mejorar la captación de energía solar para la preparación de alimentos.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La cocina solar tipo horno diseñada y construida por el **CDTS-ESPOL**, es una cocina que funciona con cuatro paneles reflectantes (norte, sur, este y oeste), construidas en acero inoxidable brillante, que se encuentran separadas, estas placas se encuentran ajustadas con un ángulo de inclinación fijo, lo que permite la concentración de la radiación solar dentro del horno. Al encontrarse fija las placas reflectivas representa una limitación, en cuanto a que el sol tiene un movimiento aparente con respecto de la superficie terrestre.

Para lograr un mejor aprovechamiento de esta radiación es necesario ajustar el ángulo de inclinación de las mismas en función del ángulo de incidencia de los rayos solares, mismos que varían durante el día en dirección este a oeste, además se debe investigar si es necesario ajustar los paneles del horno en dirección norte- sur, variación que varía durante el año.

La construcción del seguidor debe ser sencilla y de bajo costo, por lo tanto deberán utilizarse materiales disponibles en el mercado. Se debe elaborar una guía práctica que describa su manejo y haga que la cocina sea aceptada de mejor forma. Además se debe considerar, que los posibles usuarios son personas de escolaridad básica o nula.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema de seguimiento solar manual para una cocina solar tipo horno, que permita maximizar la energía captada durante el tiempo de cocción de un alimento, por medio del ajuste del ángulo de los paneles reflectantes en función del ángulo de incidencia del sol.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la variación del ángulo de incidencia del sol para una posición geográfica determinada.
2. Analizar alternativas de diseño para un sistema de seguimiento solar manual.
3. Diseñar y construir un sistema mecánico manual, de bajo costo y operación sencilla que permita ajustar el ángulo de inclinación de las placas.
4. Caracterizar el comportamiento del prototipo a través de pruebas experimentales.

1.3. MARCO TEORICO

Para la construcción de un seguidor solar manual para cocinas solares tipo horno se debe tener en cuenta varios aspectos teóricos básicos como lo son la radiación incidente del sol sobre la superficie terrestre y la variación del ángulo de incidencia del sol, adicionalmente debemos conocer las propiedades de los alimento a cocinar.

1.3.1. RADIACIÓN SOLAR Y ÁNGULOS DE INCIDENCIA

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. La temperatura media del sol es de más de 6000 K y en su interior ocurren una serie de reacciones de fusión nuclear que producen una pérdida de masa que es transformada en energía.

La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra se denomina irradiación, que mide la potencia por unidad de superficie (W/m^2) vatio por metro cuadrado.

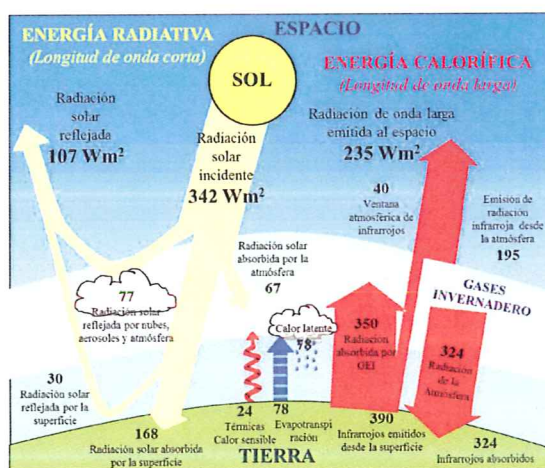


Figura 1.1. Radiación solar en la tierra¹

¹ Gobierno de España, Instituto de Tecnologías Educativas Flujo de energía entre el sol y la tierra https://jferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/5_balancede_radiacion_neta.html

Para la construcción de un sistema de seguimiento manual solar se debe determinar la variación del ángulo de incidencia del sol, para ello hay que tener en cuenta algunos aspectos relacionados al movimiento del sol y la tierra.

Para la determinación del ángulo con el que la radiación solar incide sobre la tierra es necesario entender el uso de las coordenadas acimutales, las que utilizan dos planos: la altura y el acimut para determinar la posición del sol, respecto de la superficie terrestre.

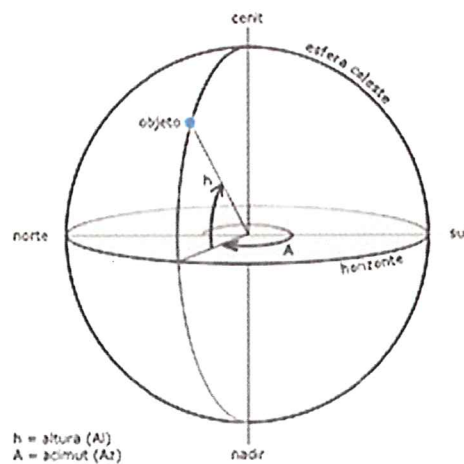


Figura 1.2. Coordenadas acimutales.

La intensidad de la luz del Sol que llega a la superficie terrestre (Irradiancia) disminuye cuando el sol se aleja de la posición vertical (zenit). Esto ocurre por dos razones:

- a) Variaciones en la extensión del área radiada: Conforme el Sol se aleja del zenit los rayos solares se proyectan sobre el plano aumentando el área irradiada mientras se mantiene un flujo de energía constante.
- b) Longitud del camino recorrido: La longitud del camino que recorre el rayo de Sol aumenta conforme disminuye la altura solar y como se desplaza a través de un grosor más grande de atmósfera también aumenta la pérdida de energía por absorción y reflexión.

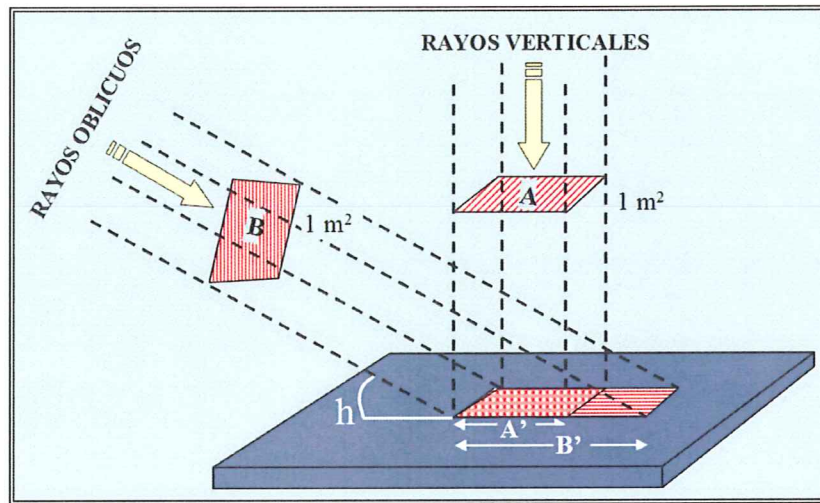


Figura 1.3. Irradiación Solar²

Como se puede observar en la figura 1.3, las flechas amarillas representan el flujo de radiación solar en el plano horizontal (I_0). Si los rayos solares caen verticalmente sobre la superficie terrestre, la intensidad de la radiación es mayor que si lo hacen oblicuamente, pues el mismo flujo de radiación se ha de repartir sobre una superficie mayor.

Por esta razón los paneles fotovoltaicos deben tener un sistema de seguimiento solar que permita mantener dichos paneles perpendiculares a los rayos solares maximizando la energía irradiada, esto permite que la eficiencia de los mismos aumente de un 30% a un 40%.

² Gobierno de España, Instituto de Tecnologías Educativas Flujo de energía entre el sol y la tierra https://fjferreer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/11_efecto_del_angulo_de_incidencia_de_los_rayos_solares_sobre_la_irradiancia.html

1.3.2. COCINAS SOLARES

- a) De concentración: Se basan en concentración de la radiación solar en un punto mediante un reflector parabólico. En dicho punto se coloca la olla que cocinará los alimentos.



Figura 1.4. Cocina solar de concentración

- b) Horno o caja: El horno o caja solar es una caja térmicamente aislada, diseñada para capturar la energía solar y mantener caliente su interior.



Figura 1.5. Cocina solar tipo horno

1.3.3. PANELES REFLECTANTES

La cocina solar tipo horno cuenta con unos paneles reflectantes que son de vital importancia para su funcionamiento, ya que estos permiten concentrar los rayos solares dentro de la misma, direccionando por decirlo así el rayo lumínico hacia dentro de la caja.

Cuando la luz es reflejada por una superficie suave ésta obedece la ley de la reflexión de Snell, la cual indica que los rayos incidentes y los reflejados forman ángulos iguales con respecto a la normal de la superficie en el punto de incidencia, además que los rayos y la normal se encuentran sobre un mismo plano.

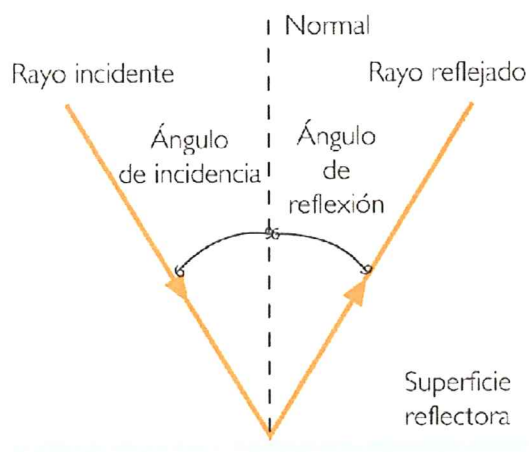


Figura 1.6. Ángulo de Incidencia y reflejado

1.3.4. SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR

Un seguidor solar es un dispositivo capaz de orientar los paneles fotovoltaicos de forma que éstos permanezcan aproximadamente perpendiculares a los rayos solares, siguiendo al sol desde el este en la alborada hasta el oeste en la puesta. Existen de varios tipos:

En dos ejes (2x): la superficie se mantiene siempre perpendicular al sol y existen de dos tipos:

- *Monoposte:* un único apoyo central
- *Carrousel:* varios apoyos distribuidos a lo largo de una superficie circular

En un eje polar (1xp): la superficie gira sobre un eje orientado al sur e inclinado un ángulo igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol. La velocidad de giro es de 15° por hora, como la del reloj.

En un eje horizontal (1xh): la superficie gira en un eje horizontal y orientado en dirección norte-sur. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol.

Para este proyecto aplicaremos los cocimientos sobre seguidores solares de paneles fotovoltaicos y sus ecuaciones para diseñar un seguidor que permita el ajuste manual de dos de los cuatro paneles del horno.

El seguidor solar manual es un dispositivo nuevo, por lo cual, no se ha conseguido referencias de dispositivos de este tipo, este seguidor debe seguir el movimiento aparente del sol en sentido este a oeste, lo que permitirá en teoría aumentar la captación de la radiación solar.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGIA DE DISEÑO

Para emprender el diseño del seguidor solar manual, se han analizado varias alternativas de movimiento de los paneles reflectantes para aumentar la concentración de rayos solares en el interior del horno durante el transcurso del día, es necesario ajustar los paneles este y oeste de tal manera que los rayos solares siempre se reflejen dentro de la cámara, es decir, que una mayor cantidad de radiación sea reflejada hacia dentro.

Cabe indicar, que el diseño original de la cocina contaba con cuatro paneles reflectantes fijo, por lo que es necesario orientarlos en relación al sol.

Para la dirección Este-Oeste, el seguidor debe permitir la inclinación o declinación de los paneles, ya que el movimiento aparente del sol en esa dirección varía durante el día de 0° a 180° , desde la salida del sol hasta el ocaso. En el caso norte – sur, se debe investigar qué tipo de estrategia se debe tomar, para la compensación angular en esa dirección, misma que varía a lo largo del año.

En muchas referencias de experiencias con hornos solares se recomienda que se ajuste los paneles reflectantes en un ángulo de 15° cada hora, para así asegurar una mayor captación de radiación solar, por tanto el panel reflectante debe detenerse en intervalos de 15° de inclinación.

INCLINACIÓN CORRECTA DEL REFLECTOR

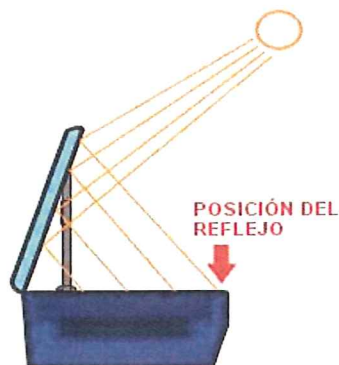


Figura 2.1. Esquema orientación placas reflectantes.³

Se hace necesario aclarar que en la bibliografía no se registran alternativas para tal construcción, todas las referencias encontradas giran en torno a hornos solares con paneles reflectantes fijos.

2.1. DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Para el diseño del seguidor manual se enfatiza en este trabajo que el sistema debe ser sencillo en su operación y de bajo costo, para ello se ha optado por usar materiales presentes en el mercado nacional, como; acero de transmisión (ASTM A108) para la construcción de los tornillos, varillas, acoples y soportes del seguidor y hierro negro (ASTM A500) para los marcos de los paneles reflectantes.

Los paneles reflectantes fueron reforzados, ya que el material con que están contruidos (acero inoxidable) tiende a perder su forma bajo la acción de cualquier presión ejercida en algún punto, también tienden a deformarse por acción del viento. Por simple inspección se determinó que estas deformaciones

³ Cocina solar Horno Solar – Recetas y videos
<http://www.gastronomiasolar.es/p/horno-solar.html>

tendrían repercusiones negativas a la hora de reflejar la luz solar hacía el centro del horno, ya que al perder su forma original dejaban de ser superficies planas, además su escaso grosor las hacía muy débiles a la hora de manipularlas.

Para solucionar esto y darle firmeza a los paneles se decidió construir un marco de hierro negro en todo su contorno, con una línea central que permita realizar un acople mediante tornillo a una varilla mecanizada.

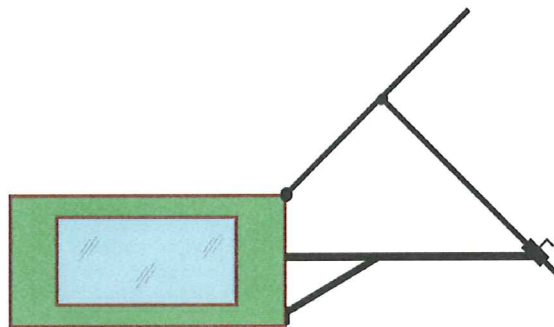


Figura 2.2: Esquema inicial de seguidor solar manual

La primera alternativa que se propuso fue construir un mecanismo de elevación del panel reflectante utilizando una varilla principal con un tornillo mecanizado en toda su extensión, junto con una manivela con piñón para hacer que la placa reflectante suba o baje por acción del desplazamiento del tornillo, lo cual representó un problema, ya que en la unión con acoples se debe tener la capacidad de rotar sobre sí mismo y aparte ser abatible.

Esto presentaba un desafío a la hora de mecanizar, ya que habría que construir una base giratoria entre el acople abatible y la varilla con tornillo mecanizado, lo que aumentaba las partes a diseñar y construir, incrementando costos de fabricación y materiales, a la vez que dificultaba el montaje del seguidor.

Otra dificultad que se presentó durante la fabricación, fue que el mecanismo de manivela y tornillo elevador, debía detenerse en una posición fija para cada posición de 15° y no regresarse por acción del peso del panel, pero, por el aumento de peso de los mismos, estos no se sostenían en una posición fija, se regresaba abruptamente hasta su posición inicial, por lo tanto, para corregir este

defecto había que construir algún tipo de seguro que no permita tal movimiento sorpresivo.

La segunda alternativa que se analizó fue usar un mecanismo de resorte con posicionador, para este diseño se debía realizar unos orificios en la varilla, marcando las posiciones donde el panel formaba un ángulo de avance de 15° , pero esta alternativa no funcionó como esperábamos, ya que al construir tal mecanismo, vimos que a veces trababa y generaba molestias al operario, además que con el aumento del peso de la placa, si no ingresaba bien el posicionador en los agujeros, el panel procedía a caerse rápidamente debido a su propio peso, abriendo la posibilidad de dañar los dedos del operario, incluso se podría dañar el panel reflectante.

Cuando se intentó construir el sistema con dos grados de libertad el movimiento de las placas era torpe y presentaba dificultades para el usuario y riesgo de que el mecanismo se trabe.

2.2. ELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE DISEÑO

Finalmente se decidió por construir un sistema con tres grados de libertad que permita realizar el movimiento del panel de manera suave y sin trabamientos. Estos tres movimientos pueden ser descritos de la siguiente manera: Abatible en la unión entre la varilla central del seguidor con el panel reflectante, abatible en la unión del soporte y el casquillo oscilante por donde ingresa la varilla y deslizamiento entre la varilla y el casquillo oscilante.

De esta manera es posible que se pueda ajustar suavemente el ángulo de inclinación de los paneles reflectantes. La principal dificultad a la hora de implementar este diseño fue que el horno tiene una inclinación en la parte superior de 15° , lo que hace que los paneles laterales tengan esa inclinación respecto del eje norte-sur, esto dificultó la instalación de las varillas, ya que estas podían chocar con las paredes laterales del horno.

2.3. DESARROLLO DE LA SOLUCION DE DISEÑO

La construcción del seguidor manual se realizó en el taller Matrimol en la ciudad de Cuenca, ubicado en la Gonzáles Suarez 6-24, que se dedica a la construcción de todo tipo de elementos mecánicos, su propietario, fue quien nos brindó el apoyo técnico para la construcción del seguidor solar.

Las partes y su diseño se presentan a continuación:

a) Casquillo guía oscilante:

Esta parte se fabricó utilizando un torno de fabricación japonesa, para moldear la forma cilíndrica, para el orificio en el centro y el orificio de tornillo sujetador se utilizó un taladro de fabricación alemana. El material utilizado para esta pieza fue el hierro negro (ASTM A500). El tornillo que se utiliza para este casquillo es M8 con tuerca de seguridad de acero inoxidable.

A este casquillo se le incrustaron mediante soldadura con arco, con electrodo 6011 de 8 pulgadas, dos ejes pequeños para que sirvan de acople al marco principal. Se fabricaron dos piezas iguales.



Figura 2.3. Foto de Marco, pomo regulador y casquillo oscilante

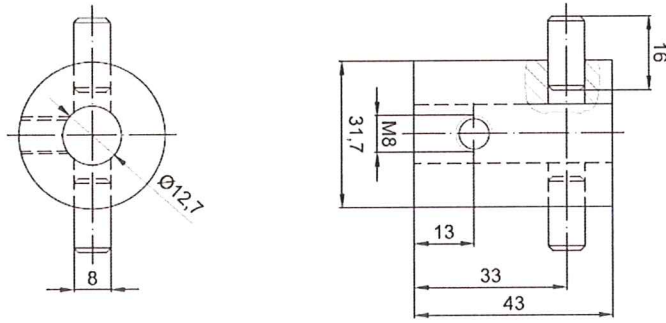


Figura 2.4. Plano del Casquillo Guía Oscilante

b) Manija pomo regulador:

Esta parte sirve para ajustar la varilla en un posición determinada, dicha pieza fue mecanizada integra, el mango es de nylon y fue moldeado en el torno, el tornillo que está incrustado y es de acero de transmisión, fue mecanizado en una fresadora de fabricación alemana. Se fabricaron dos piezas iguales.

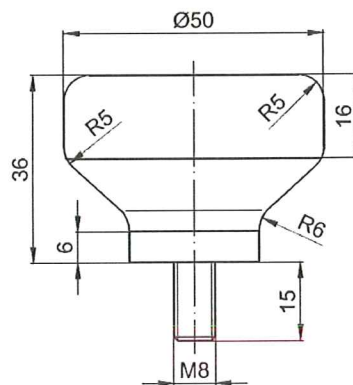


Figura 2.5. Plano de la Manija pomo regulador

c) Eje Regulador:

Este eje es el que comúnmente a través de todo el proyecto le hemos llamado varilla. Este eje fue mecanizado en el torno, y fue construido de acero de transmisión. Por otra parte, para proceder marcar las posiciones angulares cada 15° se requirió mecanizar

una cara plana con la fresadora, de manera que se pueda marcar las señas de las posiciones.

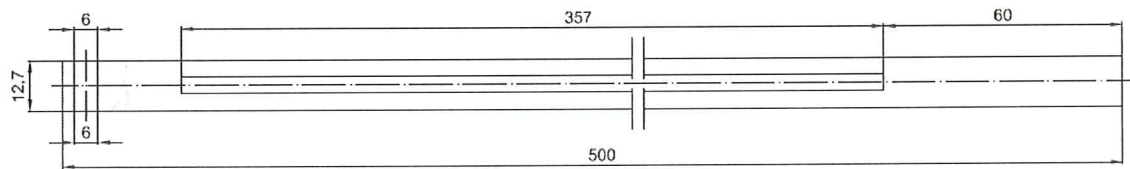


Figura 2.6. Plano del Eje Regulador

d) Eje soporte posterior y frontal:

Eje que sostiene al panel reflectante norte y sur, fueron mecanizado en el torno y está hecho de acero de transmisión. Para este acople se utiliza un tornillo M6 con tuerca de seguridad.

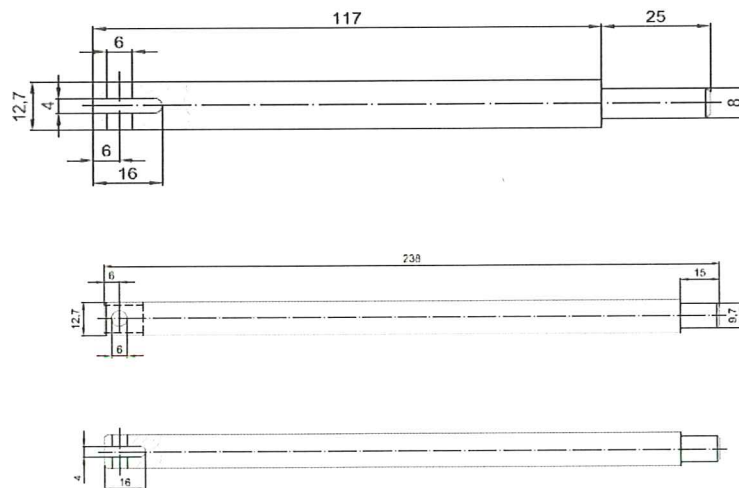


Figura 2.7. Planos de los ejes de paneles norte y sur



Figura 2.8. Soporte lateral y eje lateral

e) Soporte:

Pieza que sostiene todo el seguidor al horno solar, fue fabricada cortando placas de hierro negro (ASTM A500), luego se procedió a soldarlas con soldadura de arco, utilizando un electrodo 6011 de 8", al final fueron lijadas y pintadas con pintura negra en aerosol, con la finalidad de obtener un mejor acabado de la pieza.

Esta pieza consta de tres partes, el marco central y dos placas empernadas que sostienen el casquillo oscilante.

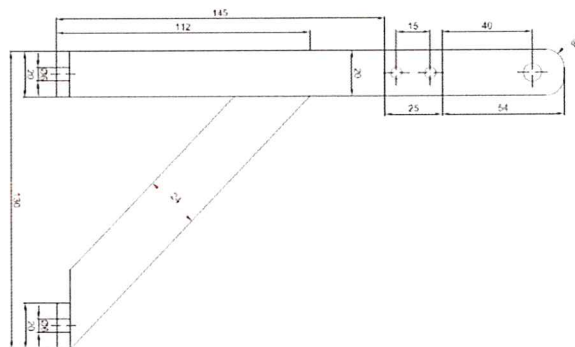


Figura 2.9. Plano del marco de soporte

Para su montaje se realizaron agujeros que permitan acoplarlo a las paredes del horno solar, y para ello se utilizaron pernos M6 con cabeza hexagonal.

f) Soporte de ejes laterales.

Constan de cuatro soportes siendo lo que acoplan los ejes del seguidor solar a los paneles reflectantes. Para su fabricación se utilizan placas de hierro negro (ASTM A500). El proceso a desarrollar durante estos soportes fueron los siguientes; se realizó el corte de los soportes, se procedió a soldar las mismas utilizando electrodos 6011 de 8 pulgadas, al final fueron lijadas y pintadas con pintura negra en aerosol, para así esconder el cordón y darle un acabado elegante y brillante.

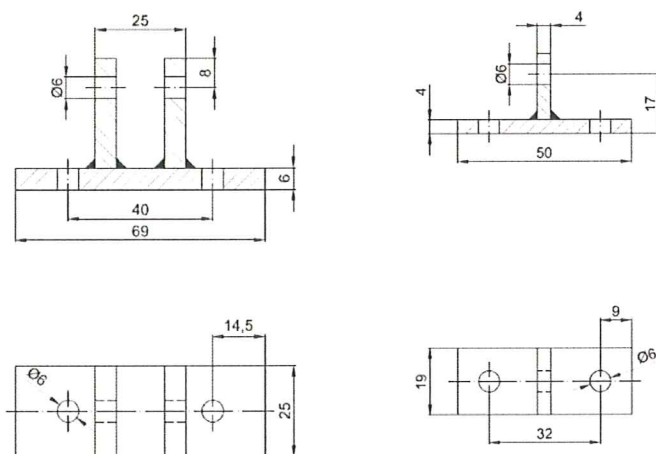


Figura 2.10. Planos de los soportes

Para realizar el ajuste con los paneles reflectantes se utilizaron tornillos hexagonales M6, para el ajuste entre el marco y la pared del horno se utilizaron tornillos para madera M6.



Figura 2.11. Soporte de eje lateral

2.4. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Un horno solar de acumulación se puede considerar en una primera aproximación como una caja negra que tiene como entradas la radiación solar y la temperatura ambiental, que ofrece como salidas un conjunto de temperaturas en el interior del equipo. Para este proyecto definimos como variables experimentales a la irradiación solar y las temperaturas dentro y fuera de la caja.

En esta sección se indica el tipo de instrumentación que se ha empleado para medir estas dos variables experimentales.

Para la medición de la temperatura se han utilizados termopares conectados a un multímetro adaptado para una entrada para termopar. La medida de temperatura con el termopar está basada en el efecto Seebeck, que es una propiedad termoeléctrica que consiste en la creación de una diferencia de potencial entre dos metales o semiconductores diferentes en presencia de una diferencia de temperatura. En definitiva, un termopar traduce cualquier temperatura en un voltaje determinado. Este voltaje permite mediante tablas traducirlos en valores de temperatura, para este caso se usó un multímetro que nos daba datos en grados centígrados. Existen varios tipos de termopares dependiendo de los materiales con que están fabricados.

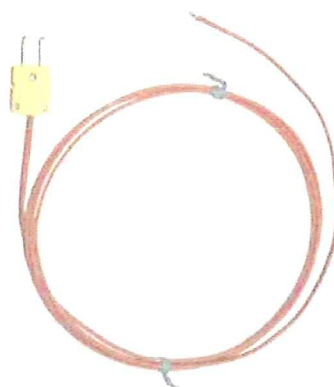


Figura 2.12. Termopar Tipo K

En este caso se eligieron termopares de tipo K con un rango de temperaturas y una precisión que resultaban adecuados.

Rango de medición termopar tipoK: -200 a +1.000 °C

Exactitud: $\pm 0,3$ °C (-100 a +70 ° C)

$\pm 0,5$ % de la lectura (+70,1 a +1.000 ° C)

$\pm 1,5$ % de la lectura (-200 a -100,1 ° C)

En la tabla 2.1 se presenta los tipos de termopares existentes en el mercado, el material que se encuentran hechos y sus características de trabajo.

TIPO	MATERIAL	CARACTERÍSTICAS
K	Cromo / Aluminio	Económico. Altas temperaturas.
E	Cromo / Aleación Cr-Ni	Bajas temperaturas.
J	Hierro / Aleación Cr-Ni	Económico.
N	Aleación Ni-Cr-Si / Aleación Ni-Si	Altas temperaturas
B-R-S	Platino / Rodio	Altas temperaturas Alta precisión Alto coste.

Tabla 2.1. Propiedades de algunos termopares

2.4.1. MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

El horno solar de concentración toma como fuente energética la radiación solar directa, la difusa y la reflejada. Estas magnitudes físicas se han podido registrar mediante un piranómetro instalado. El horno solar se ha puesto en funcionamiento para pruebas experimentales en un lugar muy cercano a la localización de este piranómetro. Por lo tanto las lecturas obtenidas del mismo pueden considerarse válidas para caracterizar la energía recibida por el horno solar.

El principio de funcionamiento de un piranómetro consiste en un termopar sobre el que incide la radiación a través de dos cúpulas semiesféricas de vidrio. En función de la densidad del flujo de irradiación solar se emite un voltaje que se transmite hasta un multímetro para traducir la señal en milivoltios para luego convertirse a través de un factor de conversión en valores de potencia radiante (Watt/m²).

El piranómetro empleado es el KippZone CMP3, el cual basta para poder hacer mediciones adecuadas de radiación, es importante mencionar este modelo ha sido instalado en las redes nacionales globalmente, acorde con normas ISO 9060 y IEC 60904. Ampliamente es usado por la Organización Meteorológica Mundial en programas científicos (WMO). Cabe indicar que este instrumento fue facilitado por el Centro de Desarrollo Sustentable (CDTS) – FIMCP.



Figura 2.13. Piranómetro Keep Zone CMP3

2.4.2. TEMPERATURA DE LA CAMARA, AMBIENTE, ALIMENTO Y PISO

La metodología escogida para el modelo experimental es muy sencilla, entendiendo que para una buena caracterización del equipo se requieren de al menos 4 temperaturas que permitan describir en detalle el comportamiento térmico durante su operación. Los puntos de medición de temperaturas fueron definidos de la siguiente manera:

Tabla 2.2 Ubicación de termopares en horno

Temperatura del aire Interior del horno (T_i)	Se ubicó un termopar cerca de la olla directamente en contacto con el aire interior
Temperatura ambiente (T_a)	Se colocó un termopar en la parte externa del horno
Temperatura de Olla (T_o)	Se colocó un termopar dentro de la olla, directamente en contacto con los alimentos
Temperatura de piso del horno (T_p)	Se colocó un termopar en el piso del horno



Figura 2.14. Foto ubicación termopares en el horno solar.

2.4.3. MEDICIÓN DEL ANGULO DE INCIDENCIA

Necesitamos calcular el ángulo de inclinación para cada panel en función de la posición del sol, donde se manifieste la mayor irradiación posible hacia dentro del horno, para esto se ha pensado en una estrategia, que consiste en analizar para qué combinación de ángulos en ambos paneles, existe la mayor transmitancia en la superficie del piso del horno. Para el caso de la dirección Este-Oeste los ángulos de los paneles van a variar durante el día y es necesario ajustar su inclinación. Para el caso del movimiento en dirección Norte-Sur, se debió investigar tal movimiento y así determinar cómo debe ser el comportamiento de los paneles.

Como primer paso, fue necesario conocer la localización exacta de un punto sobre la superficie terrestre, para el caso de este estudio debemos saber la ubicación de la ciudad de Guayaquil, siendo de 79°58' de longitud oeste y 2°12' de latitud sur. Como segundo paso, debemos determinar ciertos parámetros como lo son:

Declinación solar del día δ : 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, que es el momento en que el sol se ubica al medio día en la parte más alta sobre la horizontal, punto llamado zenit.

La ecuación más comúnmente usada para determinar la declinación en función del día del año es la fórmula de Cooper (1969).

$$\delta = 23.45^\circ \times \text{Sin} \left[360^\circ \frac{(284+n)}{365} \right] \quad \text{Ecuación 2.1}$$

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

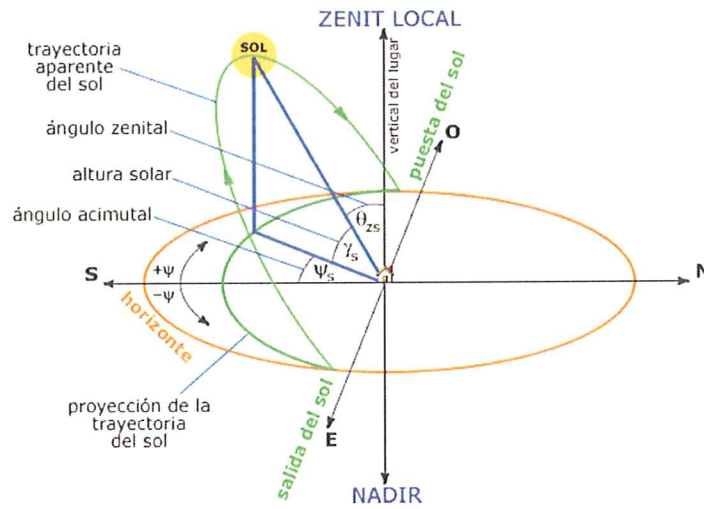


Figura 2.15. Posición espacial del sol.

Ángulo Zenital θ_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 ω : 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° de longitud, tomando un valor (+) por las mañanas y (-) por las tardes.

La altura solar o ángulo de elevación α : se hace importante analizar este ángulo, porque 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.

Estos ángulos se relacionan entre sí mediante la siguiente ecuación:

$$\cos z = \sin \alpha = \sin \delta \times \sin \theta + \cos \delta \times \cos \theta \times \cos \omega^4 \quad \text{Ecuación 2.2}$$

El ángulo acimutal o posición del Sol σ : es el ángulo que forma la componente horizontal de la radiación solar directa, con la dirección Norte-Sur, en el hemisferio norte.

$$\sin \sigma = \frac{\cos \delta}{\cos \alpha} \cdot \sin \omega \quad \text{Ecuación 2.3}$$

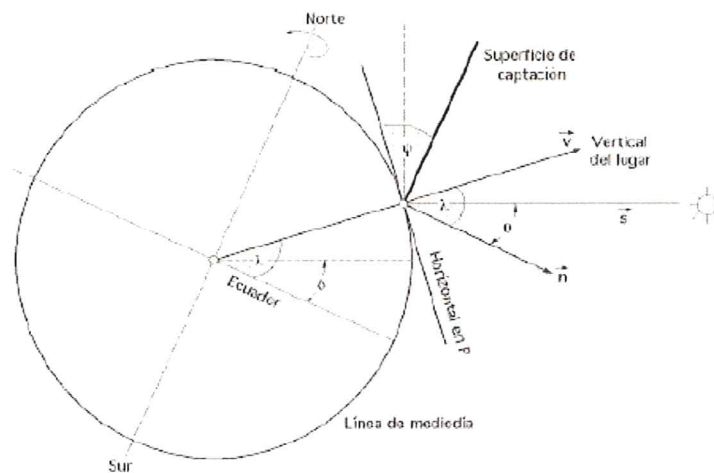


Figura 2.16: Situación espacial de diversos ángulos.

Para definir la estrategia de diseño a la hora de construir el seguidor se debe determinar para qué ángulos de inclinación de los paneles reflectantes se logra la máxima irradiación hacia dentro del horno, para ello debemos hacer algunas consideraciones en función de la geometría de la reflexión solar para cada panel.

Concerniente a la colocación del panel norte y sur se hace necesario analizar el comportamiento del ángulo de inclinación solar. Por motivo, que el ángulo solar

⁴ Fresnel Equation, Duffie John A.; Beckmann; William A. (2006): Solar Energy of thermal Processes

varía a lo largo de todo el año, según las ecuaciones Ecuación 2.1 y Ecuación 2.2.

En la tabla 2.3 se presenta la inclinación del ángulo, para los días promedios de cada mes, desde Enero a Diciembre.

Tabla 2.3. Ángulo declinación solar y altura solar

Día (n)	Fecha del calendario	Declinación Solar (δ)	Altura Solar (α)
17	17 - ENERO	-20.92	113.12
47	16 - FEBRERO	-12.95	105.15
75	16 - MARZO	-2.42	94.62
105	15 - ABRIL	9.41	82.79
135	15 - MAYO	18.79	73.41
162	11 - JUNIO	23.09	69.11
198	17 - JULIO	21.18	71.02
228	16 - AGOSTO	13.45	78.75
258	15 - SEPTIEMBRE	2.22	89.98
288	15 - OCTUBRE	-9.60	101.80
318	14 - NOVIEMBRE	-18.91	111.11
344	10 - DICIEMBRE	-23.05	115.25

En la tabla antes indicada podemos observar algunos datos relevantes, por ejemplo, para los meses de Junio y Diciembre se obtiene la mayor declinación solar entre -23 y $+23$, con los que se obtiene una altura solar entre 115.25° y 69.11° , representando la altura solar mínima y máxima, mostrada en la figura 2.17.

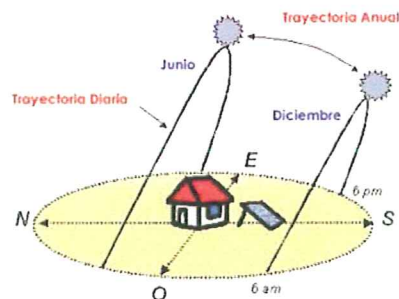


Figura 2.17: Variación de altura solar en Solsticios

Si dividimos la diferencia angular ($115.25^\circ - 69.11^\circ$) tenemos la altura solar varía anualmente en un rango de 46.14° , tal intervalo se lo divide para 12 meses y obtenemos la variación mensual de la altura solar, lo que nos da $\bar{\alpha} = 46.14/12 = 3.85$, es decir, el sol varía su posición respecto de la horizontal 3.85° cada mes, por tanto podemos concluir que para el caso de la dirección de los paneles Norte-Sur, tal variación solar es muy escasa, y puede ser considerada despreciable.

Así que por lo antes mencionado, en los paneles Norte y Sur no hay necesidad de ajustar el ángulo durante el día,

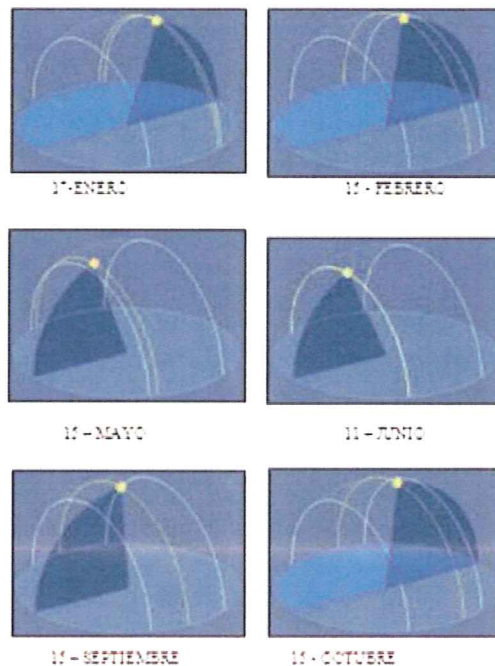


Figura 2.18. Altura solar para distintos meses.

Es importante mencionar algo respecto a la figura, en ella se muestra la posición del sol en el mes de septiembre, mes donde se realizaron las mediciones experimentales. Durante este mes el sol se encuentra a la máxima altura solar posible, es decir durante el transcurso del día se puede asumir que

el sol está a 90° por encima de la horizontal, el valor real de tal altura solar será de 89.98° .

Para diseñar la estrategia de seguimiento en la dirección Este – Oeste de los paneles, es necesario analizar el esquema geométrico de la luz y además determinar para qué ángulos de los paneles en función de la inclinación solar se logra la mayor transmitancia hacia la parte interior del horno, es decir, para que combinación de ángulos se logra la mayor transmisión de radiación al interior del horno.

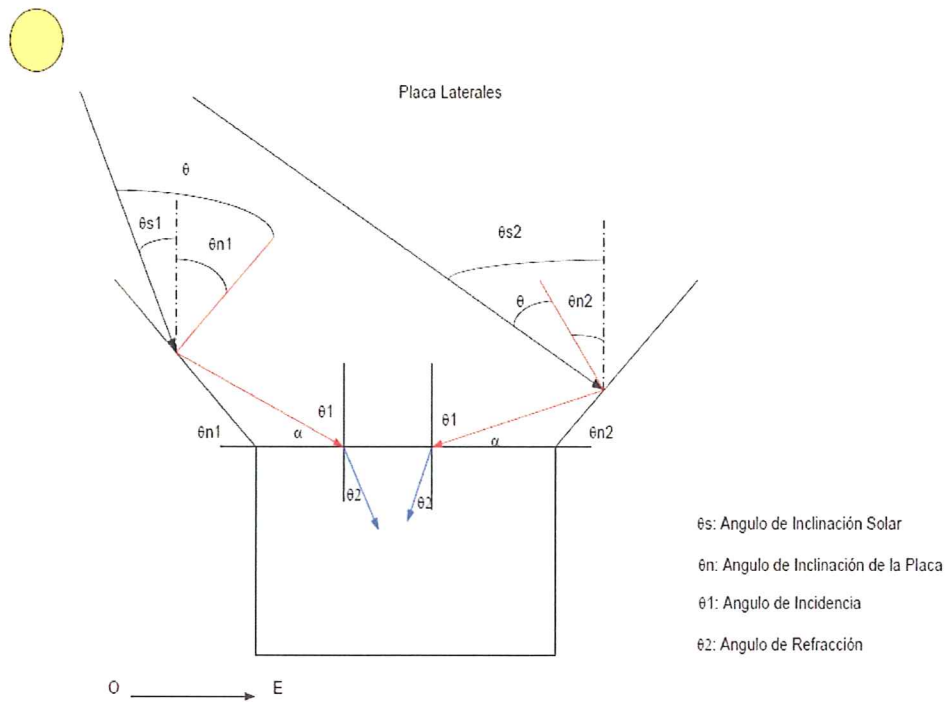


Figura 2.13: Esquema geométrico para paneles Este-Oeste

Para analizar el caso de los paneles en dirección Este-Oeste, realizamos el siguiente procedimiento.

- 1) Conocido el esquema geométrico de la luz solar en cada panel se procede a determinar la ecuación que relaciona θ_s y θ_n (ángulo del panel) y por geometría. En base a los diagramas planteados tenemos lo siguiente:

Tabla 2.4: Relaciones angulares

Orientación	Relación
Oeste	$\theta_1=90-(2B_1+\theta_s1-90)$
Este	$\theta_1=90-(2\theta_s1-B_2-90)$

Donde; B se refiere al valor de inclinación del horno solar, que para el caso del horno solar del CDTS fue construido con un ángulo de inclinación de 15° .

- 2) Utilizando el mismo esquema geométrico, se establece el ángulo de Incidencia de la luz reflejada por cada panel.

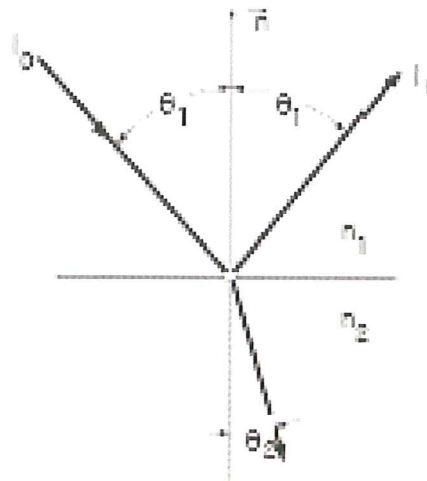


Figura 2.19. Ley de Snell

- 3) Posteriormente, se procede a calcular el ángulo de refracción a partir de la ley Snell $n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2$; donde n_1 es el índice refracción del aire con valor de 1.00 y n_2 es el índice de refracción del vidrio con un valor promedio de 1,57.

- 4) Conocido el ángulo de refracción se procede a evaluar la reflectancia en base a la siguiente ecuación, basada en las ecuaciones de Fresnel para reflexión de rayos:

$$\rho = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \right)^2 + \left(\frac{n_1 \cos \theta_2 - n_2 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_2 + n_2 \cos \theta_1} \right)^2 \right\}$$

Ecuación.2.4

Este valor se calcula para los diferentes ángulos θ_2 que se generan, producto de las diferentes inclinaciones que puede adoptar el panel, esta ecuación forma parte de las ecuaciones de Fresnel.

- 5) Luego se procede a calcular la transmitancia de la cubierta para la reflexión a saber que la cubierta es elaborada con vidrio transparente. Despreciando la absorción ($\alpha = 0$), por lo tanto la ecuación nos queda que; $\tau + \rho = 1$

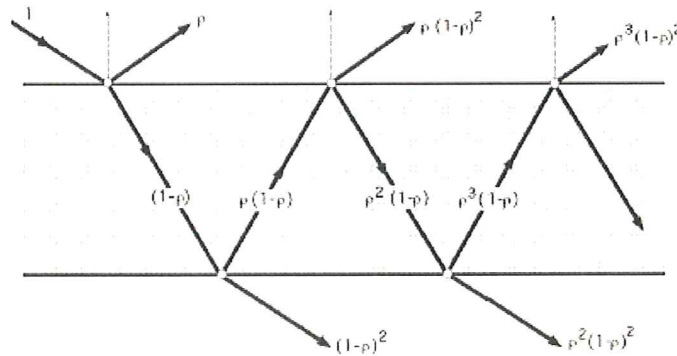


Figura 2.20. Reflectancia entre dos placa de vidrio

Aplicando el diagrama mostrado se deduce la siguiente, donde N es el número de cubiertas de vidrio.

$$\tau_{TII} = \frac{(1 - \rho)}{1 + (2N - 1) \rho}$$

Ecuación .2.5

Con estas consideraciones es sencillo determinar mediante el uso de tablas y gráficas generadas, cuáles serán los ángulos de inclinación de los paneles en función del ángulo de incidencia solar. A continuación se presentan mediante tablas y figuras los cálculos realizados durante el análisis de los ángulos idóneos de la posición de cada panel.

Tabla 2.5. Ángulos y transmitancia del panel Este

Panel Este

	grados
Angulo solar Θ	-15
Angulo de Coc	15

Datos para ley de Snell

N1 Aire	1.00029
N2 Vidrio	1.57
Placas de vidrio	2

							Ángulo Max	83°
							Tmax	0.184722926
Grados	$\Theta 1$ grados	$\Theta 1$ rad	$\Theta 2$ rad	$\Theta 2$ grados	Reflectancia	Transmitancia		
10	145	2.530727415	0.374106804	21.4347409	6.81025033	-0.271117439		
11	143	2.49582083	0.393510365	22.5464831	6.464245711	-0.267950578		
12	141	2.460914245	0.412561538	23.6380349	6.119496472	-0.264457436		
13	139	2.42600766	0.431235131	24.707953	5.778082874	-0.260609691		
14	137	2.391101075	0.449505083	25.7547441	5.441941504	-0.256376919		
15	135	2.35619449	0.467344461	26.7768652	5.112848629	-0.251726724		
16	133	2.321287905	0.484725472	27.7727238	4.792406699	-0.246624987		
17	131	2.28638132	0.501619488	28.7406796	4.482034095	-0.241036234		
18	129	2.251474735	0.517997088	29.6790469	4.18295821	-0.234924176		
19	127	2.21656815	0.533828119	30.5860982	3.896211831	-0.228252426		
20	125	2.181661565	0.549081779	31.4600685	3.622632764	-0.220985443		
21	123	2.14675498	0.563726725	32.2991621	3.362866555	-0.213089716		
22	121	2.111848395	0.577731203	33.1015596	3.117372101	-0.204535193		
23	119	2.07694181	0.591063207	33.8654272	2.886429925	-0.19529696		
24	117	2.042035225	0.603690667	34.5889274	2.670152781	-0.185357139		
25	115	2.00712864	0.615581665	35.2702314	2.468498268	-0.174706939		
26	113	1.972222055	0.626704678	35.9075331	2.281283086	-0.163348765		
27	111	1.93731547	0.637028846	36.4990643	2.108198518	-0.151298254		

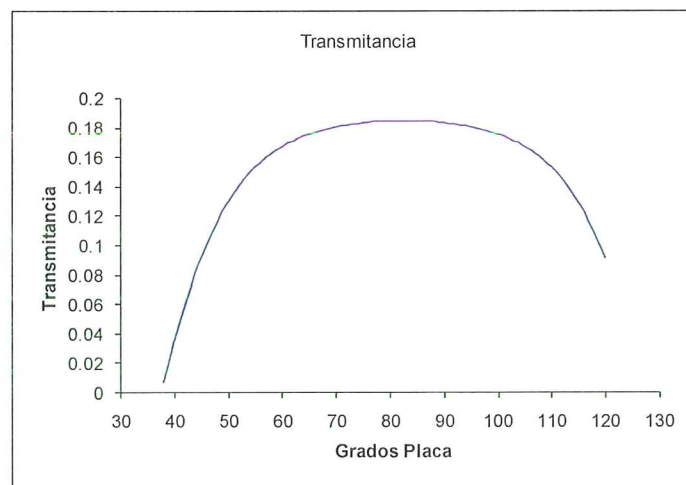


Figura 2.21. Transmitancia vs Ángulo del panel Este

Tabla 2.6. Ángulos y transmitancia del panel Oeste

Panel Oeste

	grados
Angulo solar Θ_s	-15
Angulo de Cocina	15

Datos para ley de Snell

N1 aire	1.00029
N2 Vidrio	1.57
Paneles	2

					Ángulo Max	98°
					Tmax	0.184722926
Grados Placa	Θ_1 grados	Θ_1 rad	Θ_2 rad	Θ_2 grados	Reflectancia	Transmitancia
10	175	3.0543262	0.0555579	3.183232497	10.57886426	-0.292604191
11	173	3.0194196	0.0777245	4.453287525	10.48536945	-0.292252212
12	171	2.984513	0.0998344	5.72009205	10.36202053	-0.291778425
13	169	2.9496064	0.1218711	6.982699446	10.20991757	-0.291178931
14	167	2.9146999	0.1438177	8.24014964	10.03040673	-0.290448772
15	165	2.8797933	0.1656573	9.491466114	9.825061752	-0.28958189
16	163	2.8448867	0.1873725	10.73565291	9.595662442	-0.288571058
17	161	2.8099801	0.2089454	11.97169164	9.344170518	-0.287407808
18	159	2.7750735	0.230358	13.19853849	9.072703289	-0.286082354
19	157	2.7401669	0.2515913	14.4151213	8.783505571	-0.284583493
20	155	2.7052603	0.2726263	15.62033662	8.478920318	-0.282898511
21	153	2.6703538	0.293443	16.81304687	8.16135848	-0.281013078
22	151	2.6354472	0.314021	17.99207762	7.833268578	-0.278911133
23	149	2.6005406	0.334339	19.15621489	7.497106494	-0.276574779
24	147	2.565634	0.3543752	20.30420272	7.155305978	-0.273984174
25	145	2.5307274	0.3741068	21.43474093	6.81025033	-0.271117439
26	143	2.4958208	0.3935104	22.54648309	6.464245711	-0.267950578
27	141	2.4609142	0.4125615	23.6380349	6.119496472	-0.264457436

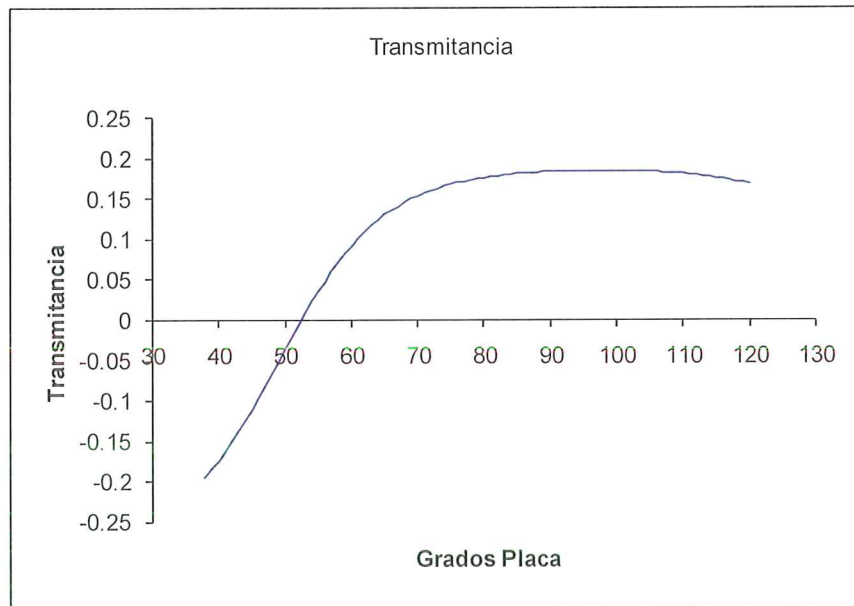


Figura 2.22. Transmitancia vs Ángulo del panel Oeste

Con estas dos hojas de cálculo, variando los ángulos de inclinación, se obtiene la siguiente tabla para los ángulos de inclinación de los paneles que ofrecen la máxima transmitancia, es decir, cuando la mayor cantidad de energía es transmitida al interior del horno. Se anotaron los datos correspondientes a intervalos de una hora, que equivalen a un movimiento de 15 grados del Sol, en dirección este a oeste.

Tabla 2.7. Ajuste de paneles para mejor transmitancia

Tiempo (h)	Angulo Incidencia sol	Angulo Panel Este	Angulo Panel Oeste
16:00	60	120	60
15:00	45	113	67
14:00	30	105	75
13:00	15	98	82
12:00	0	90	90
11:00	-15	82	98
10:00	-30	75	105
9:00	-45	67	113
8:00	-60	60	120

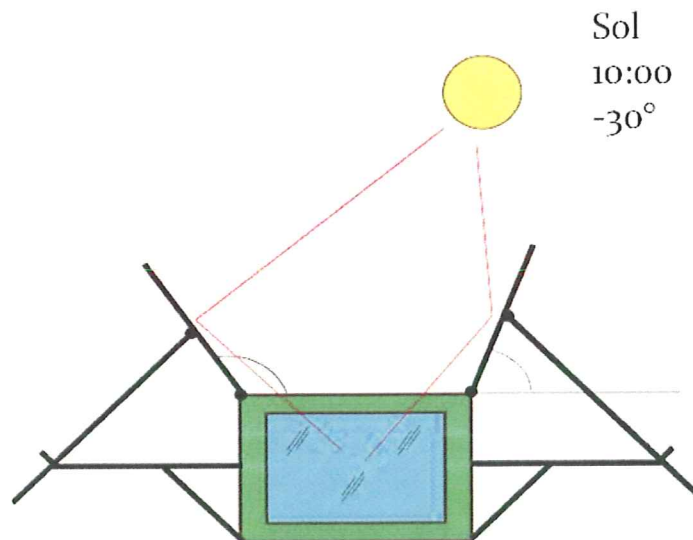


Figura 2.23. Esquema de ajuste de paneles

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS

La toma de datos experimentales fue realizada en la ESPOL, en las instalaciones del CDTS, a partir del 27 de agosto hasta el 6 de Septiembre. En estas fechas se presentaron días con condiciones climáticas variantes, entre días soleados y despejados, así como también días nublados y fríos, lo cual fue positivo para nuestro experimento, por lo tanto, se pudo observar el funcionamiento del horno solar bajo distintas condiciones climáticas.

3.1 ÁNGULOS DE INCIDENCIA E INTERVALO DE AJUSTE DE PANELES

Para la determinación del ángulo óptimo de inclinación de los paneles, es decir, el ángulo donde mayor cantidad de radiación es reflejada dentro del horno, se desarrolló una hoja de cálculo (Tabla 2.7) donde se especifican los ángulos de ajuste de los paneles para distintos valores de inclinación solar, para intervalos de una hora (15 grados).

3.2 TEMPERATURAS Y TIEMPO DE COCCIÓN

Mediante la cocción modificamos los componentes físicos y bioquímicos del alimento. Es así que llegando a la cocción lograremos que el alimento se ablande, facilitando la digestión y permitiendo la asimilación de los nutrientes.

La temperatura interna mínima a la que los agentes patógenos son destruidos depende del tipo de alimentos que se cocinan. Para asegurar que los productos alimenticios sean seguros para el consumo humano, se ha utilizado las siguientes condiciones de temperatura (Tabla 3.1) para determinar el tiempo en que los alimentos se encuentran listos para su consumo.

Tabla 3.1. Temperatura de cocción para algunos alimentos⁵

Alimento	Temperatura mínima
Frutas y vegetales cocidos para ser mantenidos calientes	135 °F (57.2 °C)
Asados de res o cerdo, filetes de res, ternera, cordero, y animales comúnmente cazados criados con fines comerciales	145°F (62.7 °C)
Huevos cocidos para ser servidos de inmediato	145°F (62.7 °C)
Pescado y alimentos que contengan pescado	145°F (62.7 °C)
Cerdo, incluyendo jamón y tocino	145°F (62.7 °C)
Ratites y carne inyectada	155°F (68.3 °C)
Huevos cocidos para ser servidos más tarde	155°F (68.3 °C)
Carne molida o cortada en trocitos, incluyendo hamburguesas, carne de cerdo molida, pescado desmenuzado, carne molida de animales cazados o salchichas	155°F (68.3 °C)
Carne de ave o productos de aves, incluyendo rellenos, carne rellena, guisados y platos que combinan alimentos crudos y cocidos	165°F (73.8 °C)
Pescado relleno	165°F (73.8 °C)

3.3. TIEMPO DE COCCIÓN

El tiempo de cocción es un factor determinante a la hora de cocinar los alimentos, estos se deben cocinar a la temperatura de cocción y mantenerlos a esa temperatura durante un tiempo necesario que asegure la desnaturalización del alimento y la eliminación de patógenos peligroso para el consumo humano.

Para el caso del horno solar es importante conocer estos datos, dado que el tiempo de cocción del alimento en este tipo de dispositivos es más largo, que en cocinas tradicionales. En los hornos solares la temperatura se eleva lentamente conforme la radiación solar incide dentro de la cámara y el efecto invernadero se hace presente.

Los siguientes tiempos de cocción son una referencia orientativa, por lo que pueden estar sujetos a pequeñas variaciones. En las tablas 3.2, 3.3 y 3.4 se presentan los tiempos para cocción de las verduras, carnes y pescado. Todas

⁵ Fuente de información federal de seguridad alimentaria , www.foodsafety.gov

las referencias de los tiempos de cocción los obtuvimos del portal web foodsafety.gov.

Tabla 3.2: Tiempo de cocción verduras (minutos)

Verdura	Asado	Frito	En agua hirviendo
Alcachofa	-----	-----	
Alubía	-----	-----	1 h 30'
Calabacín	35' - 40'	-----	25' - 30'
Cebolla	20' - 25'	15'	20'
Col / berza	-----	-----	30' - 40'
Champiñón	-----	15'	15'
Espárrago	-----	-----	20'
Espinaca	-----	10' - 12'	10'
Guisante	-----	-----	15' - 20'
Judía verde	-----	-----	15'
Lenteja	-----	-----	1 h.
Patata	35' - 40'	10'	20'
Puerro	-----	-----	35'
Tomate	20'	10' - 12'	10'
Zanahoria	35' - 40'	35' - 40'	25'

Para referencia se tiene un Kilogramo de cada verdura.

Tabla 3.3. Tiempo de cocción para carnes (minutos)

Animal	Plancha (asado)	Al horno (asado)	En sartén (frito)	En agua (hirviendo)
Cerdo	10'	1 h. 30'	10'	1 h. 45'
Conejo	25'	1 h.	-----	1 h.
Cordero	15'	1 h.	10'	1 h.
Pato	-----	1 h. 30'	-----	1 h. 30'
Pollo	15' - 20'	1 h. 15'	20'	1 h.
Ternera	10'	45' - 1 h.	10'	1 h.
Vacuno	10' - 12'	1 h.	10'	1 h. 30' - 45'

Para referencia un kilogramo de carne, excepto para aves son raciones normales para una persona (una presa).

Tabla 3.4. Tiempo de cocción para pescado

Pescado	Al horno (asado)	En sartén (frito)	En agua (hirviendo)
Anchoa	3' - 4'	4' - 6'	-----
Atún	8' - 10'	8'	5' - 7'
Bacalao	8' - 10'	7' - 8'	5'
Besugo	10'	8'	-----
Lenguado	7' - 8'	6'	5'
Lubina	10'	8'	6'
Merluza	9' - 10'	8' - 9'	4' - 5'
Mero	6' - 7'	8'	9' - 10'
Rape	6' - 8'	8'	10'
Salmón	10' - 12'	6' - 7'	8' - 9'
Sardina	8' - 10'	-----	-----
Trucha	10'	6' - 8'	7' - 9'

Raciones normales por persona aproximadamente 150g

En esta sección se presentan las diferentes gráficas que se obtuvieron a partir de la toma de datos durante los días mencionados, la lectura de los datos se registró cada 10 minutos, desde las 9:05 hasta las 17:25.

Tabla 3.5: Tabla de datos experimentales (día soleado).

Soleado despejado escasa nube

Hora	Voltaje (mV)	Radiación (watt/m ²)	Temperaturas				
			Olla	Aire	Piso (°C)	Pared	Ambiente
			(°C)	(°C)	Interior	extrema	(°C)
9:05	10.1	733.48	28	29	28	29	29
9:15	10.5	762.53	28.5	29	28	30	30
9:25	11.7	849.67	28.8	37	28	31	30
9:35	11.8	856.94	29	42	30	33	31
9:45	11.9	864.20	31	43	32	32	31.5
9:55	12.2	885.98	32	45	31	34	32
10:05	13.1	951.34	34	52	34	33	32
10:15	12.7	922.29	37	54	35	34	33.5
10:25	13.9	1009.44	39	57	37	33	33
10:35	14.2	1031.23	43	63	41	34	32
10:45	14.8	1074.80	45	65	46	32	31
10:55	15.7	1140.16	48	69	48	31	34.8
11:05	15.2	1103.85	47	70	52	33	31
11:15	14.8	1074.80	52	71	63	33	33
11:25	14.9	1082.06	50	70	65	32	31
11:35	15.1	1096.59	53	71	68	32	33
11:45	14.5	1053.01	58	74	73	32	33
11:55	14.8	1074.80	60	73	74	33	32
12:05	14.9	1082.06	57	71	72	32	31
12:15	16.2	1176.47	62	73	74	33	32
12:25	14.9	1082.06	66	77	78	33	36
12:35	15.8	1147.42	69	81	79	34.5	35
12:45	15.3	1111.11	71	79	77		33.4
12:55	16.1	1169.21	72	77	78		35
13:05	15.8	1147.42	72	76	79		34
13:15	14.2	1031.23	71	74	76		32.4
13:25	14.1	1023.97	72	74	76		32.7
13:35	13.5	980.39	73	73	76		33
13:45	12.9	936.82	75	69	75		33
13:55	12.8	929.56	78	68	77		32
14:05	11.8	856.94	79	67	78		31.6
14:15	11.2	813.36	81	69	79		31.3
14:25	11.2	813.36	81	69	79		33
14:35	11.4	827.89	83.5	71	80		33
14:45	11.3	820.62	83	70	80		34
14:55	10.7	777.05	82.8	68	77		32
15:05	10	726.22	80	68	76		33
15:15	9	653.59	79	67	78		34
15:25	9	653.59	79	65	74		34
15:35	8.9	646.33	77	65	74		33
15:45	7.9	573.71	75	63	71		34
15:55	7.4	537.40	72	61	70		33
16:05	7.2	522.88	70	61	69		32
16:15	7.1	515.61	71	60	67		32
16:25	7.1	515.61	68	58	66		32
16:35	6.4	464.78	66	55	66		31
16:45	6.8	493.83	67	53	65		30
16:55	6.4	464.78	64	50	62		30
17:05	6.5	472.04	61	48	60		31
17:15	5.1	370.37	62	48	60		30
17:25	4.9	355.85	60	47	61		29

Con los datos experimentales antes expuestos, procedimos a construir los siguientes gráficos, de ellos podemos obtener algunas observaciones, acerca del comportamiento de la cocina solar, los demás tablas de los otros días se encuentran en los anexos.

Para el análisis del comportamiento del horno solar, hemos escogido tres días con condiciones climáticas diferentes, para un día soleado, soleado parcialmente nublado y nublado-frío.

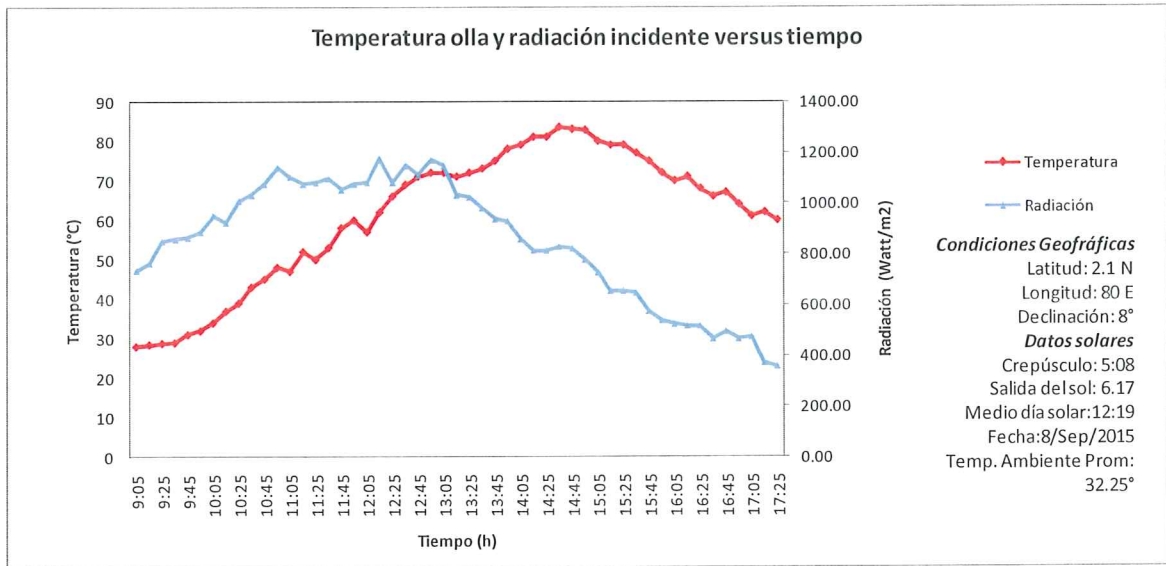


Figura 3.1. Temperatura de Olla, radiación Vs. Tiempo (Día soleado)

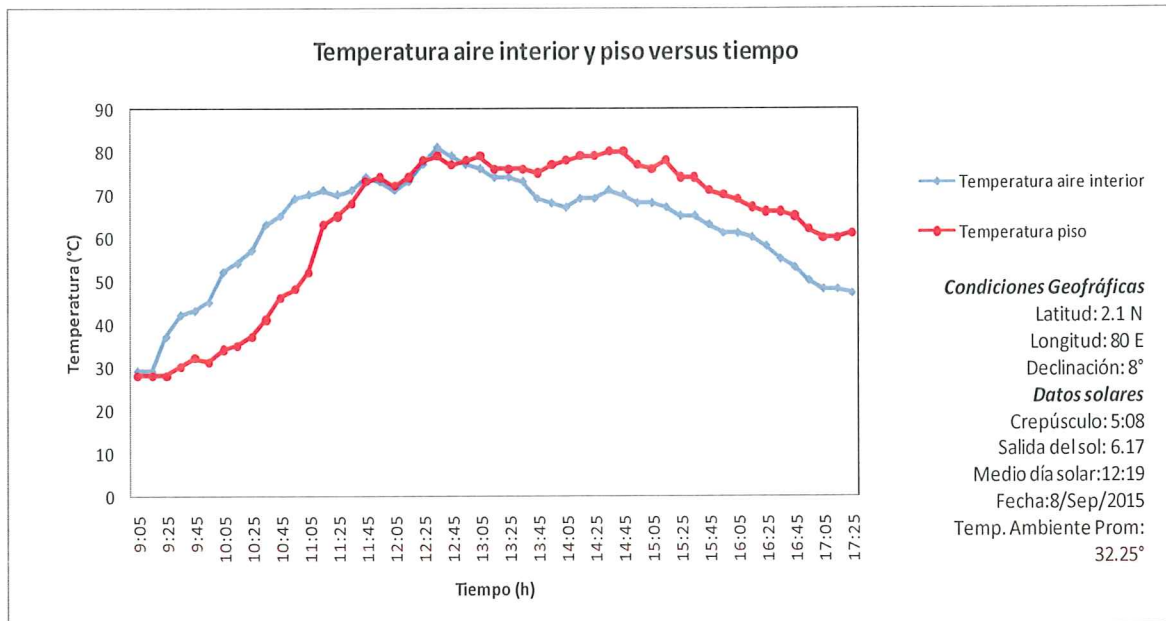


Figura 3.2. Temperatura de Piso y aire interior Vs. Tiempo (Día soleado)

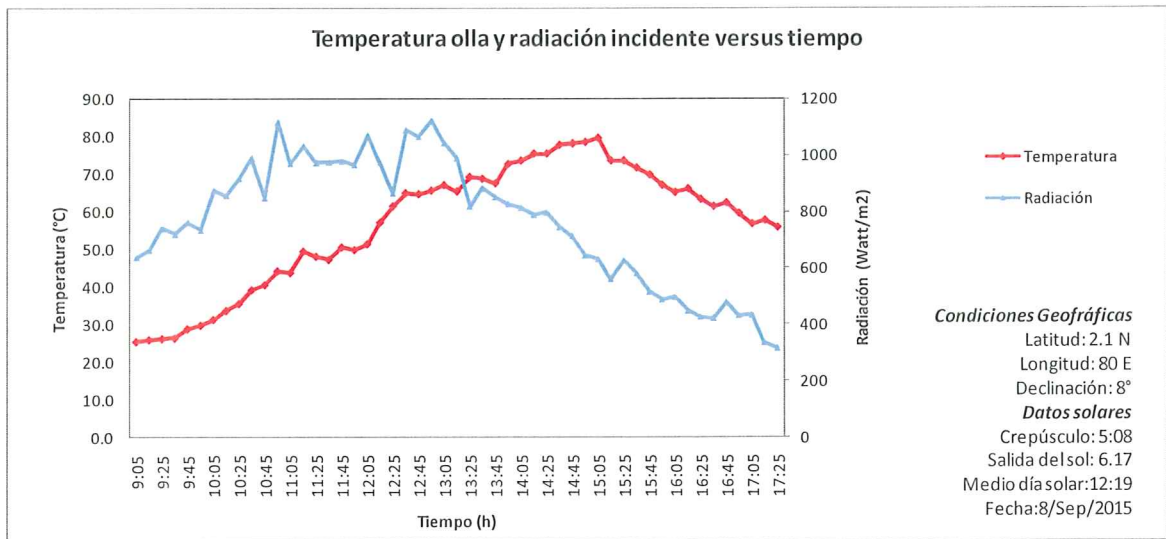


Figura 3.3. Temperatura de Olla, radiación Vs. Tiempo (Día soleado y parcialmente nublado)

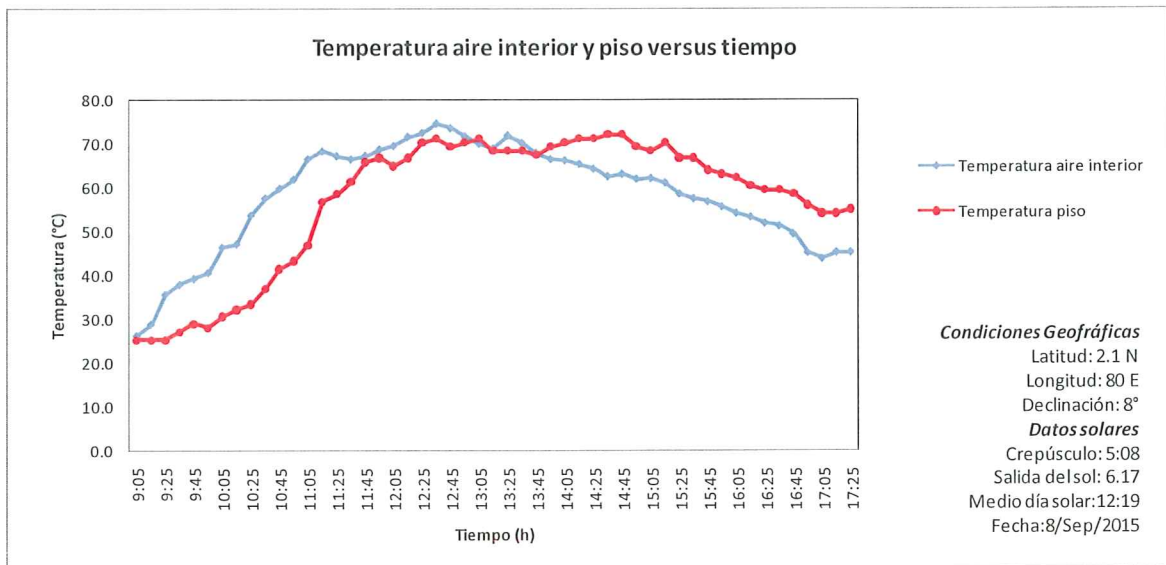


Figura 3.4. Temperatura de Piso y aire interior Vs. Tiempo (Día soleado y parcialmente nublado)

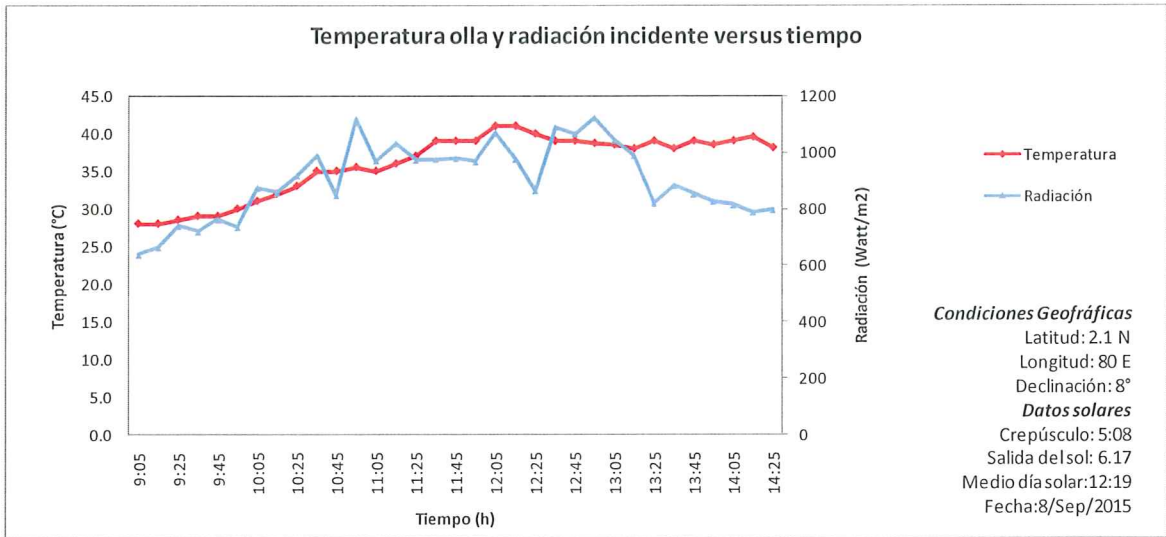


Figura 3.5. Temperatura de Olla, radiación Vs. Tiempo (nublado y frio)

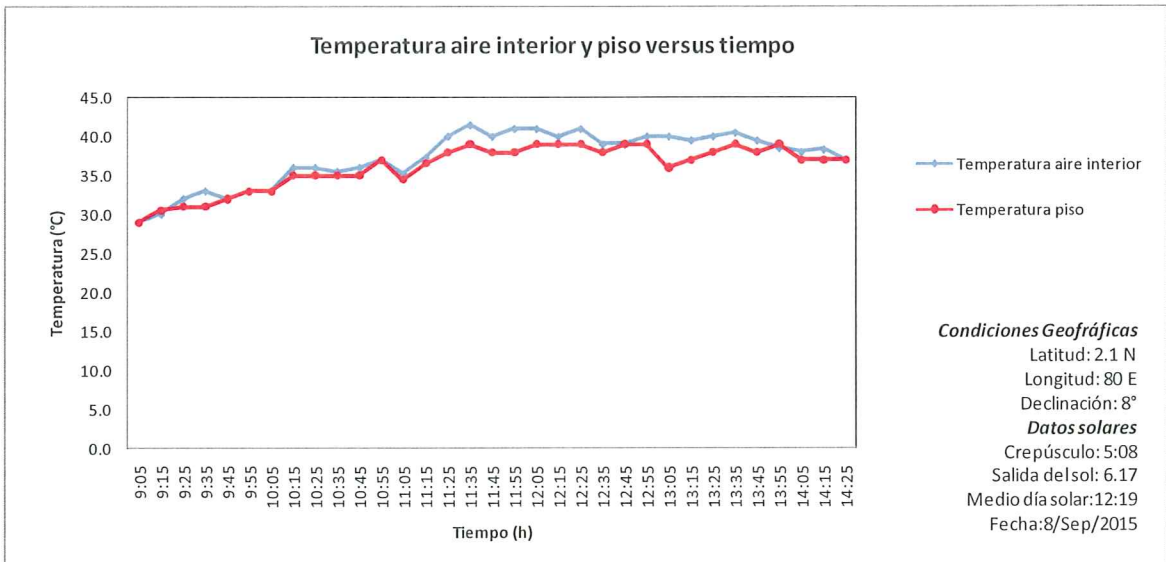


Figura 3.6. Temperatura de Piso y aire interior Vs. Tiempo (nublado y frio)

Observaciones para día soleado:

De la figura 3.1

- La temperatura máxima en la olla es 83° a las 14:45
- La temperatura mínima de cocción del pollo (73.8°) se alcanza a las 13:35 y se mantiene por encima de ese valor hasta las 15h45.
- El valor máximo de radiación (1176.47 watt/m²) a las 12:15.
- Una vez alcanza la máxima temperatura de la olla, esta empieza el descenso hasta un mínimo de 60° a las 17h45, hora que termina el experimento y es el momento de menor radiación (355.85 watt/m²)
- Luego de que la radiación ha llegado a su punto máximo, empieza a decaer, mientras que la temperatura de la olla sigue incrementándose, para luego llegar a un punto máximo donde empieza a decaer.

De la figura 3.2

- La temperatura del piso aumenta por debajo de la temperatura del aire interior hasta que llegan a un máximo, hasta el mediodía donde ocurre la máxima irradiación, luego de ello la temperatura del aire empieza a decaer más lentamente que la temperatura del piso.

Observaciones para día soleado parcialmente nublado:

De la figura 3.3

- La temperatura máxima en la olla es 79.5° a las 15:05
- La temperatura mínima de cocción del pollo (73.8°) se alcanza a las 14:15 y se mantiene por encima de ese valor hasta las 15h25.
- El valor máximo de radiación (1082.06 watt/m²) a las 12:05.
- Una vez alcanza la máxima temperatura de la olla, esta empieza el descenso hasta un mínimo de 60° a las 17h45, hora que termina el experimento y es el momento de menor radiación (316.70 watt/m²)
- Luego de que la radiación ha llegado a su punto máximo, empieza a decaer, mientras que la temperatura de la olla sigue incrementándose, para luego llegar a un punto máximo donde empieza a decaer.

- La radiación tiene una variación mucho mayor para intervalos pequeños de tiempo, esto se debe a la presencia de nubes que tapaban el sol durante algunos minutos.

De la figura 3.4

- La temperatura del piso aumenta por debajo de la temperatura del aire interior hasta que llegan a un máximo, hasta el mediodía donde ocurre la máxima irradiación, luego de ello la temperatura del aire empieza a decaer más lentamente que la temperatura del piso.

Observaciones para día nublado y frío:

De la figura 3.5

- La temperatura máxima en la olla es 40° a las 12:25
- La temperatura mínima de cocción del pollo (73.8°) no se alcanza.
- El valor máximo de radiación (275.96 watt/m²) a las 12:25.
- Una vez alcanza la máxima temperatura de la olla, esta empieza el descenso hasta un mínimo de 38.1° a las 14h45, hora que termina el experimento.
- La radiación casi no aumenta, como en los primeros dos casos
- La radiación tiene una variación mucho mayor para intervalos pequeños de tiempo, esto se debe a la presencia de nubes que tapaban el sol durante algunos minutos.

De la figura 3.6

- En esta figura se pudo observar que la temperatura del piso y del aire mantienen el mismo comportamiento, casi igualando sus valores.

3.4. EFICIENCIA DE LA COCINA SOLAR

La eficiencia del horno solar se puede calcular de la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{Q}{A \int H dt} \approx \frac{Q_u}{A_p \times \bar{H}} \approx \frac{(m_p c_p + m_{H_2O} c_{H_2O} + m_{Al} c_{Al}) \times \Delta T}{A_p \times \bar{H} \times 3.6} \quad \text{Ecuación. 3.1}$$

Donde:

A_p = Área del piso del horno

M_p = Masa del pollo

C_p = Calor específico de pechuga de pollo

M_{H_2O} = Masa del agua

C_{H_2O} = Calor específico del agua

M_{Al} = Masa de aluminio (olla)

C_{Al} = Calor específico del aluminio

H = Radiación promedio

La noción de dicho cálculo parte de comprar el valor de calor absorbido por el alimento, olla y piso del horno con el valor de la radiación emitida por el área de incidencia (área de piso). La radiación usada será la radiación promedio durante la parte en que la temperatura llega a su valor máximo. Cabe indicar que los valores de los calores específicos fueron obtenidos del libro de Transferencia de calor de Incropera.

En la expresión mencionada se debe tener en cuenta un factor de conversión de 3.6, ya que el numerador de la expresión tiene unidades de Kilojoules, mientras que el denominador tiene unidades de Watts. Con los datos de capacidad calorífica para el pollo y materiales dentro del horno, se obtuvo lo siguiente:

Tabla 3.6 Eficiencia del horno

	m (kg)	Cp (Kj/Kg °C)	Dt (°C)83-28
Pollo	0.2	3.320	55
Agua	1.5	0.999	55
Aluminio	2	4.179	55
Área del piso	0.206	m ²	
Radiación Promedio	986.2	Watt	
Eficiencia			78.96 %

Es importante saber que los valores de eficiencia están íntimamente ligados con las condiciones climáticas del entorno donde se usa el horno solar, además de la ubicación geográfica.

3.5. ANÁLISIS DE COSTOS DEL DISEÑO

Para la construcción de la cocina solar tipo horno se emplearon materiales locales y de bajo costo, planchas de hierro negro y ejes de acero inoxidable. Los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.7. Costos de materiales y mano de obra

Materiales	Cant	Costo/ Unit.	Costo
Planchas de hierro negro	2	11.40	22.80
Eje de transmisión	4	14.00	56.00
Tornillos hexagonales	8	1.27	10.16
Tornillos para madera	16	0.36	5.76
Soldadura	2	17.80	35.60
Subtotal			130.32
Mano de obra	1		120
Total			250.32

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se concluye finalmente los resultados generales obtenidos durante el experimento, además se realizaron las recomendaciones de ciertas pautas para mejorar el desempeño del equipo así como alternativas que permitan incrementar la precisión de los valores obtenidos.

4.1 CONCLUSIONES

- En la curva de Temperatura de olla y Radiación versus tiempo (figura 3.1), se evidencia que aunque la radiación llegue a su máximo valor y a la vez empieza a disminuir drásticamente, la temperatura dentro de la olla sigue incrementándose, esto se debe a que la olla y el aire interior del horno solar actúan como acumuladores de calor. Por otro lado también es un indicio que el equipo está bien aislado, ya que el incremento de temperatura no obedece a la reducción de la radiación incidente.
- La temperatura de cocción del pollo se mantuvo por encima de su temperatura mínima de cocción durante 2 horas aproximadamente. Podemos concluir que el pollo se cocinó, ya que el tiempo mínimo de cocción es de 1:15 en un horno normal.
- Para el caso de los días parcialmente nublados y nublados con temperatura ambiental de 20 °C, la temperatura necesaria para la cocción del pollo no se alcanzó o no duró lo suficiente.
- Para el caso de la curva de Temperatura interna de la cámara y del piso versus tiempo (figura 3.2), podemos ver que el aire del interior se enfría más rápido que el piso, esto es debido, a que el piso está hecho de un material (acero inoxidable) que tiene una capacidad calorífica específica mucho mayor que la del aire, es decir cuatro veces mayor.
- Se determinó que la radiación solar se alcanza en la ciudad de Guayaquil, en el día soleado a las 12:05, valor que se acerca a 12:19 que es el medio día solar

calculado por una aplicación GPS, para el punto donde se realizaron las mediciones.

- En un día nublado se pudo apreciar como varía drásticamente el valor de radiación, como ejemplo una nube bastante grande tapó al sol por un intervalo de 5 minutos, la radiación incidente cayó drásticamente, quizá esta sea una razón importante porque estos tipos de equipos que aprovechan energía solar pueden experimentar problemas durante su operación.
- Para un día nublado y frío no es posible cocinar, ya que en ningún momento se rebasa la temperatura de cocción.
- La eficiencia del equipo fue de $\eta=78.96\%$, lo que significa que el equipo está operando de la manera esperada.
- Realizando la comparación del horno solar con paneles fijos con respecto a las modificaciones realizadas se evidencia un incremento de temperatura máxima de 20°C , lo que nos dice que el seguidor ha mejorado la operación del horno, incrementando la captación de la radiación incidente.

4.2. RECOMENDACIONES

- En los experimentos se recomienda usar una placa negra en el fondo del horno, con la finalidad de mejorar la captación de radiación incidente.
- El cálculo de la eficiencia puede ser mejorado analizando punto a punto los cambios de temperaturas y radiaciones para todos los intervalos del día.
- Así como se reforzó los paneles reflectantes Oeste y Este, se debería reforzar los paneles Norte y Sur, de tal manera que evitemos sus deformaciones.
- Se recomienda utilizar una olla con tapa de vidrio para mejorar la transmisión de radiación hacia el alimento.
- Sería muy interesante obtener una mayor cantidad de datos experimentales, ya que para este proyecto se recopilaron datos de 11 días.
- La eficiencia fue calculada para un día soleado, y tomando como referencia un valor promedio, pero para mejorar tal cálculo podemos analizar también su eficiencia para los demás tipos de día y así obtener un gráfico de eficiencias.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Colectivo de autores, Propuesta de procedimiento para la evaluación del desempeño térmico de cocinas y hornos solares, Red RICSA, 2000.
2. Funk, P. A., "Evaluating the international standard procedure for testing solar cookers and reporting performance", Solar Energy, vol. LXVIII, núm. 1, 2000, págs. 1-7.
3. Mullick, S. C. et al ., "Thermal test procedure for Box type solar cooker", Solar Energy, vol XXXIX, núm. 4, 1987, págs. 353-360.
4. Nandwany S., La cocina solar. Horno solar, Laboratorio de Energía Solar, Departamento de Física, Universidad Nacional, Costa Rica, 1993.
5. Patricia Llaique Herreros, Malena Salinas Portilla, Fabiola Zúñiga Ramírez, Manuel Rodríguez Zúñiga, "Diseño, desarrollo y evaluación de una cocina solar de bajo costo", Revista Científica de la Universidad Alas Peruana UAP, CIENDES 9 2008.
6. Incropera, Frank P; Dewitt, David P. Fundamentos de transferencia de calor. Cuarta Edición. PRENTICE HALL, México, 1999.
7. Fernández Díez Pedro; Procesos Termo solares en baja, media y alta temperatura; Universidad de Cantabria, España.
8. Delgado, Emerita; Peralta, Juan; Barriga, Alfredo, "Diseños de cocinas solares para la aplicación en sectores rurales del Ecuador", Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción FIMCP-ESPOL, 2006.
9. Susana Fonseca Fonseca, Jorge Luis Abdala Rodríguez, Zulema Acosta V., "EVALUACIÓN TÉRMICA DE UNA COCINA SOLAR TIPO CAJA, Centro de Investigaciones de Energía Solar, Revista perteneciente al Departamento de Ciencias Químicas de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Oriente, 2010.

ANEXOS

Anexo A

Tablas de datos experimentales

Soleado despejado escasa nube

Hora	Voltaje (mV)	Radiación (watt/m ²)	Temperaturas				
			Olla	Aire	Piso (°C)	Pared	Ambiente
			(°C)	Interior (°C)		externa (°C)	(°C)
9:05	10.1	733.48	28	29	28	29	29
9:15	10.5	762.53	28.5	29	28	30	30
9:25	11.7	849.67	28.8	37	28	31	30
9:35	11.8	856.94	29	42	30	33	31
9:45	11.9	864.20	31	43	32	32	31.5
9:55	12.2	885.98	32	45	31	34	32
10:05	13.1	951.34	34	52	34	33	32
10:15	12.7	922.29	37	54	35	34	33.5
10:25	13.9	1009.44	39	57	37	33	33
10:35	14.2	1031.23	43	63	41	34	32
10:45	14.8	1074.80	45	65	46	32	31
10:55	15.7	1140.16	48	69	48	31	34.8
11:05	15.2	1103.85	47	70	52	33	31
11:15	14.8	1074.80	52	71	63	33	33
11:25	14.9	1082.06	50	70	65	32	31
11:35	15.1	1096.59	53	71	68	32	33
11:45	14.5	1053.01	58	74	73	32	33
11:55	14.8	1074.80	60	73	74	33	32
12:05	14.9	1082.06	57	71	72	32	31
12:15	16.2	1176.47	62	73	74	33	32
12:25	14.9	1082.06	66	77	78	33	36
12:35	15.8	1147.42	69	81	79	34.5	35
12:45	15.3	1111.11	71	79	77		33.4
12:55	16.1	1169.21	72	77	78		35
13:05	15.8	1147.42	72	76	79		34
13:15	14.2	1031.23	71	74	76		32.4
13:25	14.1	1023.97	72	74	76		32.7
13:35	13.5	980.39	73	73	76		33
13:45	12.9	936.82	75	69	75		33
13:55	12.8	929.56	78	68	77		32
14:05	11.8	856.94	79	67	78		31.6
14:15	11.2	813.36	81	69	79		31.3
14:25	11.2	813.36	81	69	79		33
14:35	11.4	827.89	83.5	71	80		33
14:45	11.3	820.62	83	70	80		34
14:55	10.7	777.05	82.8	68	77		32
15:05	10	726.22	80	68	76		33
15:15	9	653.59	79	67	78		34
15:25	9	653.59	79	65	74		34
15:35	8.9	646.33	77	65	74		33
15:45	7.9	573.71	75	63	71		34
15:55	7.4	537.40	72	61	70		33
16:05	7.2	522.88	70	61	69		32
16:15	7.1	515.61	71	60	67		32
16:25	7.1	515.61	68	58	66		32
16:35	6.4	464.78	66	55	66		31
16:45	6.8	493.83	67	53	65		30
16:55	6.4	464.78	64	50	62		30
17:05	6.5	472.04	61	48	60		31
17:15	5.1	370.37	62	48	60		30
17:25	4.9	355.85	60	47	61		29

Soleado parcialmente nublado

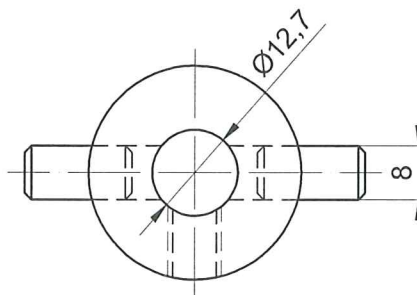
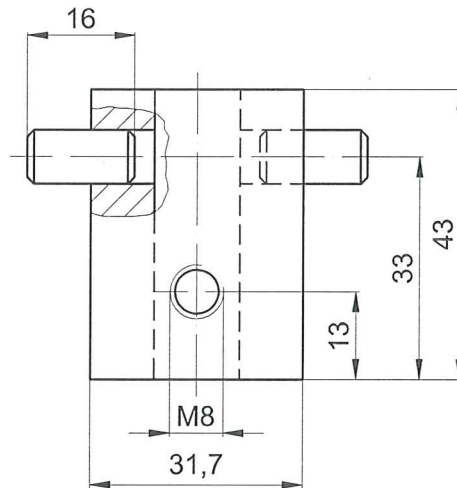
Hora	Voltaje (mV)	Radiación (watt/m2)	Tempraturas				
			Olla (°C)	Aire Interior (°C)	Piso (°C)	Pared extrena (°C)	Ambiente (°C)
9:05	10.1	638.126362	25.5	26.1	25.2	29	28.13
9:15	10.5	663.398693	25.9	28.7	25.2	30	29.1
9:25	11.7	739.215686	26.2	35.5	25.2	31	29.1
9:35	11.8	719.825708	26.4	37.8	27.0	33	30.07
9:45	11.9	762.222222	28.8	39.1	28.8	32	30.555
9:55	12.2	735.366739	29.8	40.5	27.9	34	31.04
10:05	13.1	875.23602	31.3	46.3	30.6	33	31.04
10:15	12.7	857.734205	33.7	47.0	32.1	37	32.495
10:25	13.9	918.59114	35.5	53.6	33.3	37	32.01
10:35	14.2	989.978214	39.1	57.5	36.9	43	31.04
10:45	14.8	849.092229	40.5	59.7	41.4	45	30.07
10:55	15.7	1117.35657	44.2	61.8	43.2	44	33.756
11:05	15.2	971.387073	43.7	66.4	46.8	43	30.07
11:15	14.8	1031.80828	49.4	68.2	56.7	35	32.01
11:25	14.9	973.856209	48.0	67.1	58.5	35	30.07
11:35	15.1	975.962237	47.2	66.4	61.2	41	32.01
11:45	14.5	979.302832	50.5	67.2	65.7	44	32.01
11:55	14.8	967.320261	49.8	68.6	66.6	43	31.04
12:05	14.9	1071.24183	51.3	69.4	64.8		30.07
12:15	15	976.470588	57.0	71.5	66.6		31.04
12:25	14.9	865.649964	61.4	72.4	70.2		34.92
12:35	15.8	1090.05084	64.9	74.5	71.1		33.95
12:45	15.3	1066.66667	64.6	73.5	69.3		32.398
12:55	16.1	1122.44009	65.5	71.6	70.2		33.95
13:05	15.8	1044.15396	67.0	69.9	71.1		32.98
13:15	14.2	989.978214	65.3	68.8	68.4		31.428
13:25	14.1	819.172113	69.1	71.8	68.4		31.719
13:35	13.5	882.352941	68.6	70.1	68.4		32.01
13:45	12.9	852.505447	67.5	67.8	67.5		32.01
13:55	12.8	827.305737	72.5	66.4	69.3		31.04
14:05	11.8	814.088598	73.5	66.1	70.2		30.652
14:15	11.2	788.961511	75.3	65.3	71.1		30.361
14:25	11.2	797.095134	75.3	64.2	71.1		32.01
14:35	11.4	745.098039	77.7	62.5	72.0		32.01
14:45	11.3	713.943355	78.0	63.0	72.0		32.98
14:55	10.7	644.952796	78.4	61.9	69.3		31.04
15:05	10	631.808279	79.5	62.0	68.4		32.01
15:15	9	562.091503	73.5	61.0	70.2		32.98
15:25	9	627.45098	73.5	58.5	66.6		32.98
15:35	8.9	581.699346	71.6	57.4	66.6		32.01
15:45	7.9	516.339869	69.8	56.7	63.9		32.98
15:55	7.4	489.034132	67.0	55.5	63.0		32.01
16:05	7.2	496.732026	65.1	54.1	62.1		31.04
16:15	7.1	448.583878	66.0	53.2	60.3		31.04
16:25	7.1	427.959332	63.2	51.8	59.4		31.04
16:35	6.4	422.948439	61.4	51.2	59.4		30.07
16:45	6.8	479.012346	62.3	49.3	58.5		29.1
16:55	6.4	432.244009	59.5	45.0	55.8		29.1
17:05	6.5	434.277415	56.7	43.7	54.0		30.07
17:15	5.1	337.037037	57.7	45.1	54.0		29.1
17:25	4.9	316.702977	55.8	45.1	54.9		28.13

Nublado y frio

Hora	Voltaje (mV)	Radiación (watt/m2)	Tempraturas				
			Olla (°C)	Aire Interior (°C)	Piso (°C)	Pared extrema (°C)	Ambiente (°C)
9:05	2.4	174.291939	28.0	29.0	29.0		29
9:15	2.9	210.60276	28.0	30.0	30.5		28
9:25	2.5	181.554103	28.5	32.0	31.0		28
9:35	2.8	203.340595	29.0	33.0	31.0		28
9:45	2.9	210.60276	29.0	32.0	32.0		27
9:55	3.1	225.127088	30.0	33.0	33.0		29
10:05	3.3	239.651416	31.0	33.0	33.0		27
10:15	2.6	188.816267	32.0	36.0	35.0		28
10:25	2.5	181.554103	33.0	36.0	35.0		29
10:35	2.3	167.029775	35.0	35.5	35.0		28
10:45	2.9	210.60276	35.0	36.0	35.0		27
10:55	3.7	268.700073	35.5	37.0	37.0		29
11:05	3.6	261.437908	35.0	35.2	34.5		25.5
11:15	3.7	268.700073	36.0	37.3	36.6		26.3
11:25	3	217.864924	37.0	40.0	38.0		28
11:35	2.3	167.029775	39.0	41.5	39.0		28
11:45	2.4	174.291939	39.0	40.0	38.0		29
11:55	2.9	210.60276	39.0	41.0	38.0		28
12:05	3.5	254.175744	41.0	41.0	39.0		29
12:15	3.6	261.437908	41.0	40.0	39.0		29
12:25	3.8	275.962237	40.0	41.0	39.0		28
12:35	2.9	210.60276	39.0	39.0	38.0		27
12:45	2.8	203.340595	39.0	39.0	39.0		28
12:55	3.3	239.651416	38.7	40.0	39.0		28
13:05	3.4	246.91358	38.5	40.0	36.0		29
13:15	3.5	254.175744	38.0	39.5	37.0		30
13:25	2.9	210.60276	39.0	40.0	38.0		30
13:35	3.1	225.127088	38.0	40.5	39.0		29
13:45	3.2	232.389252	39.0	39.5	38.0		29
13:55	2.8	203.340595	38.5	38.5	39.0		30
14:05	2.9	210.60276	39.0	38.0	37.0		29
14:15	2.7	196.078431	39.5	38.3	37.0		27
14:25	2.8	203.340595	38.1	37.0	37.0		28

Planos de piezas

PLANO 1 CASQUILLO GUÍA OSCILANTE

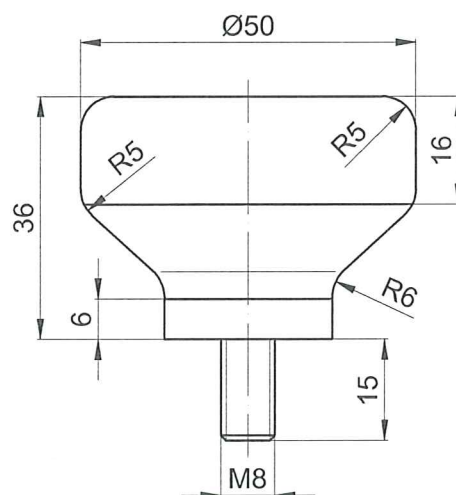


CASQUILLO GUÍA OSCILANTE

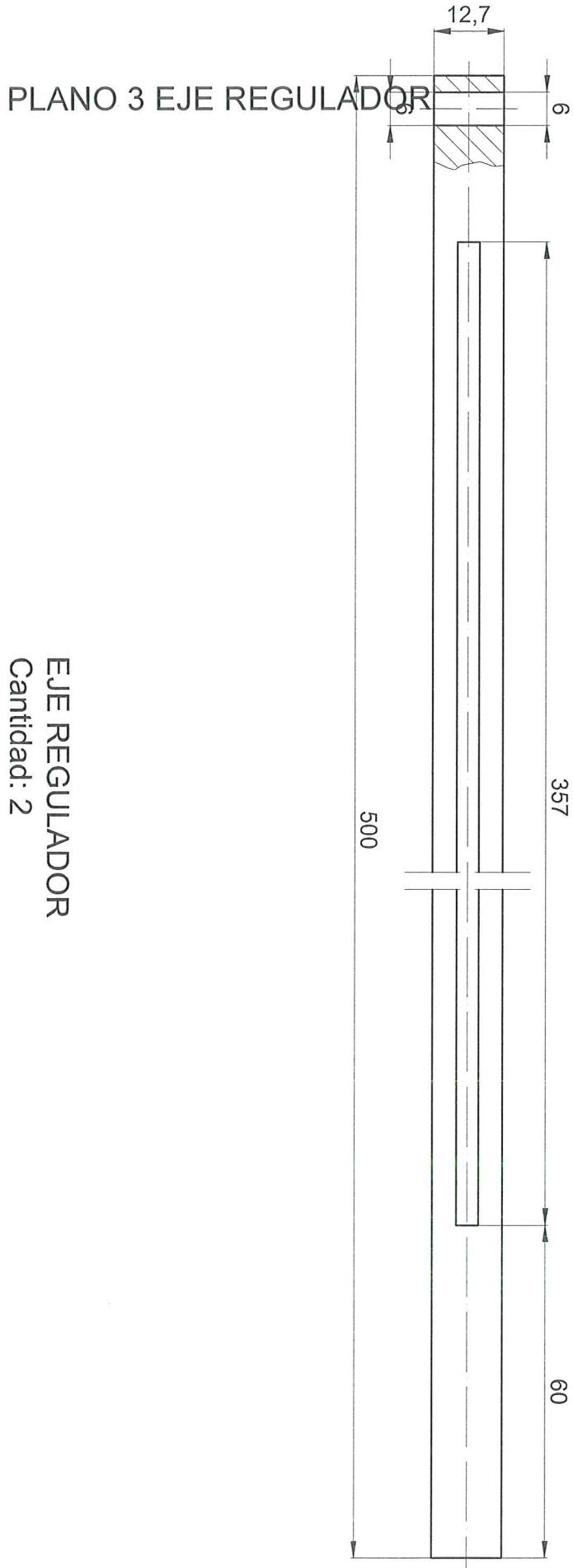
Cantidad: 2

Material: Fe

PLANO 2 MANIJA POMO REGULADOR

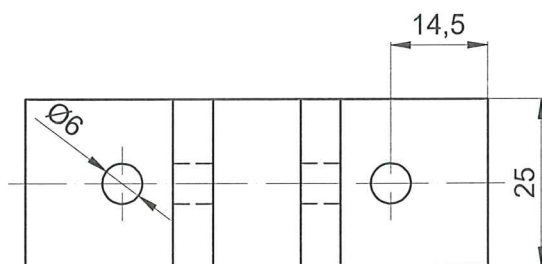
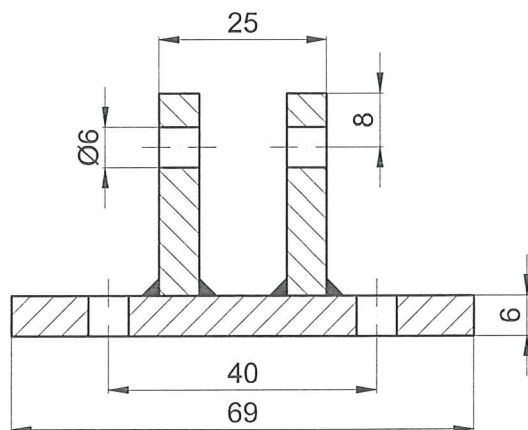


MANIJA - POMO REGULADOR
Cantidad: 2
Material: Nylon



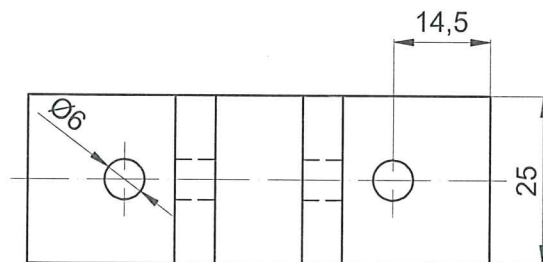
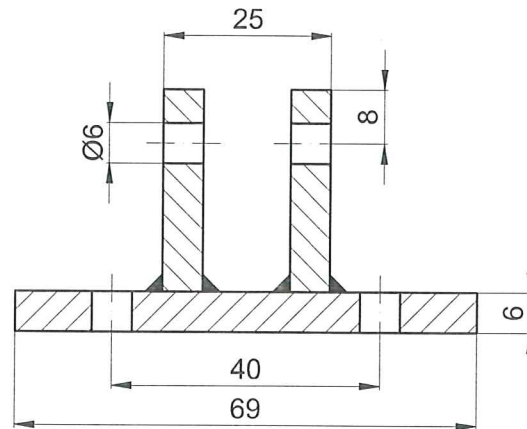
EJE REGULADOR
Cantidad: 2
Material: Acero de Transmisión

PLANO 4 EJE LATERAL (ESTE)



SOPORTE DE EJE LATERAL
Cantidad: 2
Material: Fe

PLANO 5 EJE LATERAL (OESTE)



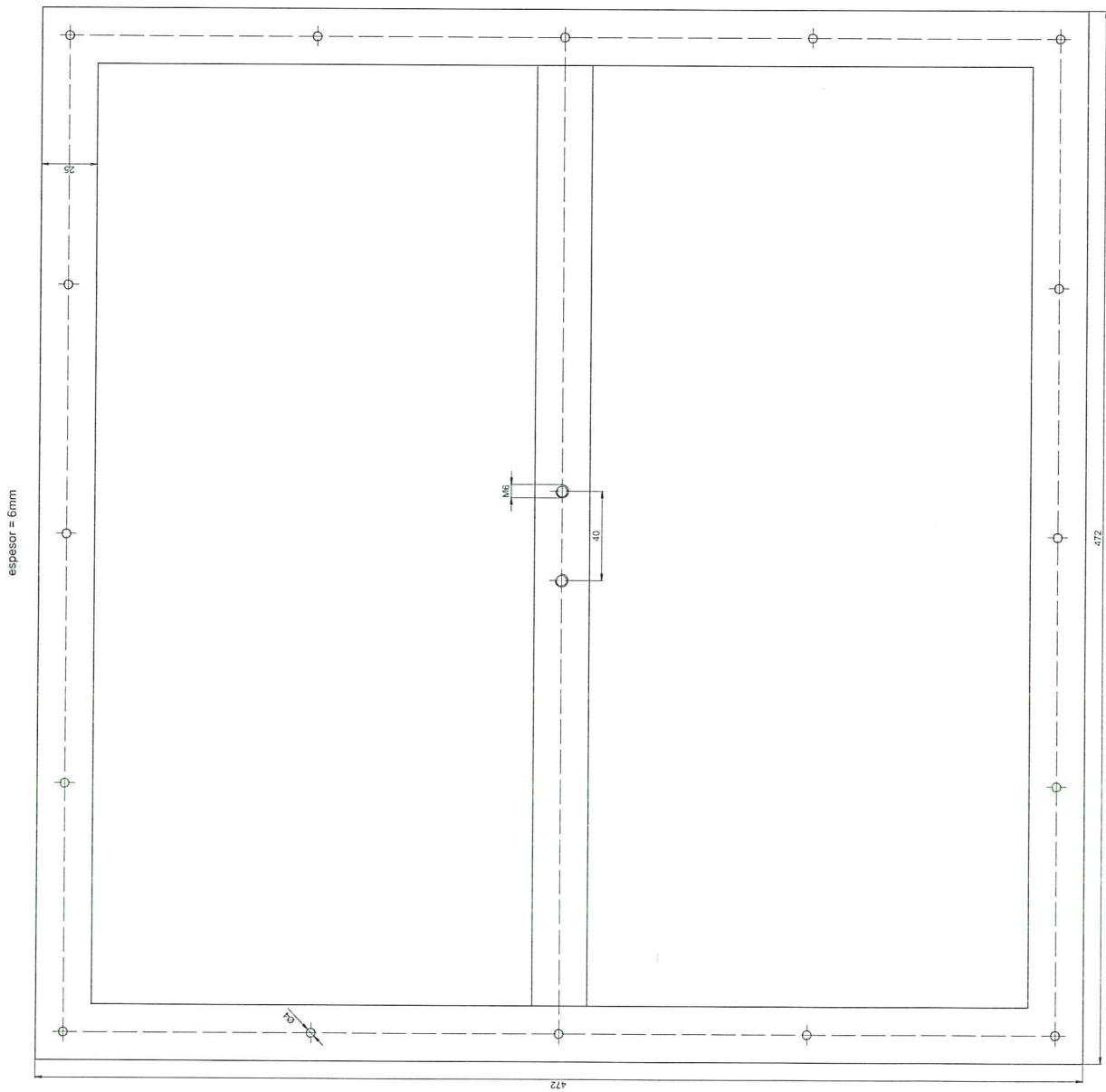
SOPORTE DE EJE LATERAL

Cantidad: 2

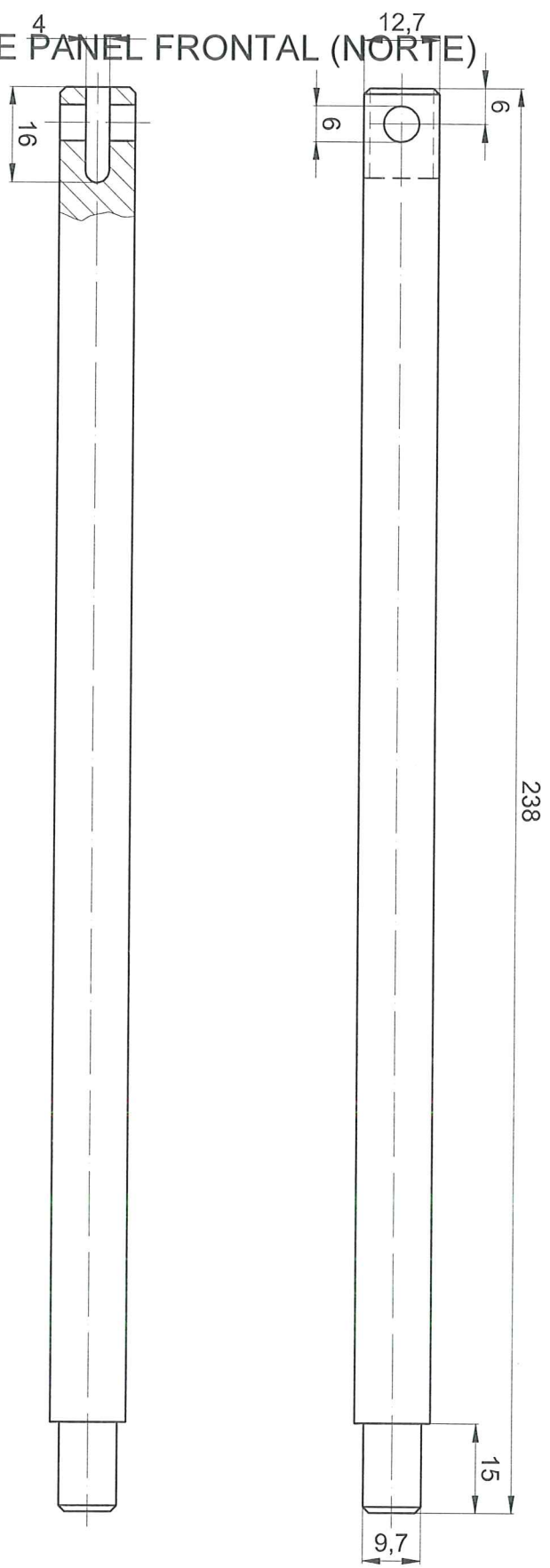
Material: Fe

PLANO 6 MARCO PRINCIPAL

MARCO PLACA DE SOPORTE
Cantidad: 2
Material: Fe

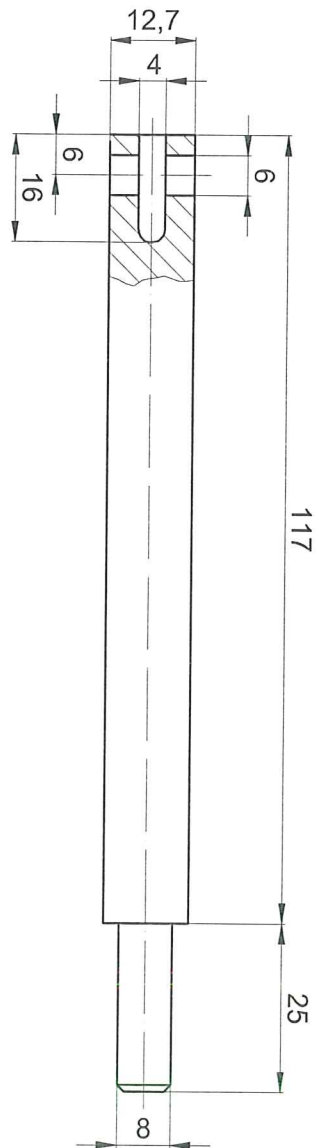


PLANO 7 SOPORTE PANEL FRONTAL (NORTE)



EJE SOPORTE PLACA FRONTAL
Cantidad: 1
Material: Acero de Transmisión

PLANO 8 SOPORTE PANEL POSTERIOR (SUR)



EJE SOPORTE PLACA POSTERIOR
Cantidad: 1
Material: Acero de Transmisión