UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

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

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECÁNICO

TITULO:

"Experimentación y Valoración Matemática de Cocinas Solares tipo Caja"

AUTORES:

Christian Augusto Picoita Camacho

Angel Fabian Pacheco Zumba.

DIRECTOR:

Ing. Thuesman Estuardo Montaño Peralta

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Ing. THUESMAN ESTUARDO MONTAÑO PERALTA

DOCENTE DEL ÁREA DE ENERGÍA, INDUSTRIAS Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

CERTIFICA:

Haber dirigido, corregido y revisado en todas sus partes, el desarrollo de la Tesis de Ingeniería Electromecánica titulado ***"Experimentación y Valoración Matemática De Cocinas Solares Tipo Caja"*** *con autoría de los señores Ángel Fabián Pacheco Zumba y Christian Augusto Picoita Camacho. En razón de que la misma reúne a satisfacción los requisitos de forma y fondo, exigidos para la investigación de éste nivel, autorizo su presentación, sustentación y defensa ante el tribunal designado para el efecto.*

Ing. Thuesman Estuardo Montaño Peralta
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Las ideas, principios, conceptos y diagnósticos expuestos en el presente proyecto de tesis son de exclusiva responsabilidad de los autores que firman a continuación, quienes a su vez autorizan al Área de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables hacer uso del presente documento en lo conveniente.

Ángel Fabián Pacheco Zumba.
Egresado en Ing. Electromecánica

Christian Augusto. Picoita Camacho.
Egresado en Ing. Electromecánica

AGRADECIMIENTOS

Ante todo queremos agradecer de una manera muy especial a Dios, que es quien nos dio la fortaleza necesaria para la culminación de nuestro proyecto de tesis.

Queremos agradecer a nuestros padres y familia, por su apoyo incondicional en el transcurso de nuestra formación profesional

Al Ing. Thuesman Montaño, por habernos guiado en el transcurso y culminación de nuestra tesis.

Al Dr. Miguel Ángel Caravallo, Ing. Ramiro Vásquez por toda la ayuda que nos brindaron en el desarrollo de nuestra tesis.

Agradecemos a cada una de las personas que nos ayudaron de una u otra forma en el desarrollo de nuestra tesis desde su comienzo hasta la culminación de la misma.

A todos

MUCHAS GRACIAS

DEDICATORIA

A nuestros queridos padres, quienes nos han apoyado incondicionalmente siempre y nos han inculcado valores y principios morales para ser personas de bien, ellos han sido la base fundamental para el cumplimiento de nuestras metas, gracias por brindarnos siempre su cariño y comprensión.

A nuestros hermanos por encaminar nuestras vidas hacia la rectitud y respeto, de los cuales nos sentimos muy orgullosos ya que todos han sabido salir adelante, gracias por brindarnos toda su confianza, amor y respeto siempre.

A nuestros amigos que de una forma u otra siempre nos han estado apoyando y preocupándose porque siempre las cosas nos salgan bien.

RESUMEN

En las cocinas solares tipo caja las fuentes de variación seleccionadas, intervienen directamente en la eficiencia del sistema de cocción. En este trabajo se determina los niveles que tienen mayor incidencia en el comportamiento de las cocinas. Se diseñaron y construyeron tres cocinas solares tipo caja de similares características físicas y constructivas en las cuales se varia únicamente su profundidad, las cuales fueron ensayadas en similares condiciones climáticas, a estas cocinas se les adapto un sistema mediante el cual es posible variar los diferentes ángulos de reflexión ensayados, así como también es posible intercambiar las placas reflectoras para los distintos materiales propuestos para el experimento. Las experiencias se realizaron de acuerdo a un diseño trifactorial por bloques al azar. La variable de respuesta seleccionada fue la temperatura. Los datos obtenidos se estudiaron utilizando técnicas de análisis de varianza, determinándose que las fuentes de variación selecciones intervienen significativamente en la ganancia de calor. Se realizo también un análisis de regresión múltiple obteniéndose el modelo matemático que refleje el comportamiento de las cocinas solares enrayadas. Y por último se realizó un análisis de optimización determinando que la profundidad (20cm), el tipo de material (espejo 92.5% de reflectividad) y el ángulo de reflexión (30), son los niveles más óptimos, para obtener una máxima eficiencia en las cocinas solares tipo caja.

SUMMARY:

In the kitchens solar type box the selected variation sources, they intervene directly in the efficiency of the cooking system. In this work it is determined the levels that have bigger incidence in the behavior of the kitchens. They were designed and they built three kitchens solar type box of physical and constructive similar characteristics in which is only varied their depth, which were rehearsed under climatic similar conditions, ah these kitchens they are adapted a system by means of which is possible to vary the rehearsed

different reflection angles, as well as it is possible to exchange the badges reflectors for the different materials proposed for the experiment. The experiences were carried out at random according to a design trifactorial for blocks. The variable of selected answer was the temperature. The obtained data were studied using technical of variance analysis, being determined that the sources of variation selections intervene significantly in the gain of heat. One also carries out an analysis of multiple regressions being obtained the mathematical pattern that reflects the behavior of the kitchens solar enrayadas. And lastly one carries out an analysis of optimization determinant that the depth (20cm), the material (mirror 92.5 reflectivity %) type and the reflection (30) angle, they are the best levels, to obtain a maximum efficiency in the kitchens solar type box.

INDICE

Certificación.	1
Declaración de Autoría	2
Agradecimiento	3
Dedicatoria	4
Resumen	5
Índice General	7
Simbología	16
Simbología Griega	18
Introducción	19
Problemática	21
Problema General	22
Problemas Específicos	22
Objetivo General	23
Objetivos Específicos	23

CAPITULO I

1. Energía Solar	24
1.1. El Sol Como Fuente De Energía	24
1.2. Transformación de la Energía	24
1.2.1.1. Energía solar pasiva	25
1.2.1.2. Energía solar térmica	26
1.3. Climatología	26
1.3.1. Ubicación Geográfica	26
1.3.2. Factores Climáticos	27
1.3.3. Régimen Pluviométrico	29

CAPITULO II

2. Cocina Solar	30
2.1. Tipos de cocina solar	30
2.1.1. Cocina solar Tipo concentrador	30
2.1.2. Cocina de almacenamiento térmico	30
2.1.3. Cocina Solar Tipo Caja	31

2.1.3.1. Funcionamiento De La Cocina Solar Tipo Caja 31
2.1.4. Ventajas sobre otros tipos 32
2.1.5. Desventajas sobre otros tipos 32
2.1.6. Factores que intervienen en una cocina solar tipo caja. 32
2.1.7. Almacenaje de calor 33
2.2. Diseño y Proporciones 33
2.2.1. Tamaño de Caja 33
2.2.2. Área de acumulación solar en relación al volumen 34
2.2.3. Reflectores 34
2.2.3.1. Materiales Reflectores. 34
2.2.3.2. Leyes de Reflectividad 35
2.2.3.3. Inclinación Necesaria Para El Reflector 35
2.2.3.3.1. Ángulo Azimut y Zenit 36
2.2.4. Utilización de cocina solar tipo caja 38
2.2.5. Factores Culturales 39

CAPITULO III

3. Normas para el Monitoreo de cocinas solares 40
3.1. Procedimiento General Para Los Ensayos Térmicos. 40
3.1.1. Variables No Controladas 40
3.1.1.1. Viento 40
3.1.1.2. Temperatura ambiental 40
3.1.1.3. Temperatura del agua 41
3.1.1.4. Insolación 41
3.1.1.5. Ángulo Solar Zenith y Angulo Azimuth 42
3.1.2. Variables Controladas 42
3.1.2.1. Carga 42
3.1.2.2. Localización 42
3.1.2.3. Detección de temperatura 42

CAPITULO IV

4. Introducción al diseño de experimentos 44

4.1. Diseño experimental 45
4.1.1. Procedimiento para diseñar Experimentos 45
4.1.1.1. Formular el problema 45
4.1.1.2. Elección De Factores Y Niveles 45
4.1.1.3. Selección De La Variable Respuesta 46
4.1.1.4. Elección Del Diseño Experimental 46
4.1.1.5. Realización del Experimento de Acuerdo a lo Planeado. 46
4.1.1.5.1. Tratamiento 46
4.1.1.5.2. Unidad Básica 46
4.1.1.5.3. Unidad Experimental 46
4.1.1.5.4. Réplicas o Bloques 47
4.1.1.5.5. Factores y Niveles 47
4.1.2. Precisión y Exactitud 47
4.1.2.1. La Precisión 47
4.1.2.2. La Exactitud 47
4.1.3. Errores en la Experimentación 48
4.1.3.1. Errores Sistemáticos: 49
4.1.3.2. Errores Aleatorios o experimentales 49
4.1.4. Repeticiones por Tratamientos 49
4.1.5. Aleatorización 50
4.1.6. La precisión y exactitud en los resultados experimentales 50
4.1.6.1. Vías para incrementar la precisión y exactitud en el Diseño Experimental 50
4.1.6.1.1. Refinar La Técnica Experimental 50
4.1.6.1.2. Manejar El Material Experimental 51
4.1.7. Análisis de Datos 51
4.1.8. Análisis De Varianza 51
4.1.9. Varianza 52
4.1.10. Covarianza 52
4.1.11. Regresión 52

CAPITULO V

5. Análisis comparativo sobre otros diseños de cocinas solares 55
5.1 Cocinas Solares Construidas En Loja 55
5.2 Cocinas Solares Construidas En Argentina 57
5.3 Cocinas Solares construidas en Chile 60
5.3.1 Experiencia 1: Análisis del comportamiento de dos cocinas solares con y sin aletas reflectoras. 61
5.3.2 Experiencia 2: Análisis de dos cocinas solares variando el espesor del aislamiento térmico (10cm y 5cm). 63
5.4 Experiencia en Lima-Perú 64

CAPITULO II

2 Materiales Y Métodos 67
2.1 Diseño teórico de la Investigación 67
2.1.1 Reflectividad de los materiales R. 67
2.1.2. Profundidad P 68
2.1.3. Angulo A 69
2.2. Construcción De Cocinas Solares 71
2.2.1 Materiales Constructivos 72
2.2.1.1 Materiales para la Caja Exterior e Interior: 72
2.2.1.2 Aislante Térmico 73
2.2.1.3 Cubierta 73
2.2.1.4 Placas Reflectoras. 74
2.2.1.5 Placa Absorbedora 74
2.3 Descripción Física De Las Cocinas Solares Tipo Caja 75
2.4 Instrumentos De Medición 75
2.4.1 Piranómetro 75
2.4.2 Termocuplas 76
2.4.3 Termómetro. 77
2.4.4 Multímetros. 77
2.5 Procedimiento general para los ensayos térmicos. 77
2.5.1. Descripción del sistema físico ensayado 77

2.5.2. Ensayos Térmicos 79
2.6. Objetivos de la Modelación Matemática. 81
2.6.1. Metodología para el Primer Objetivo 81
2.6.1.1. Diseño Experimental 82
2.6.1.2. Hipótesis 83
2.6.1.3. Análisis De Varianza 85
2.6.2. Metodología para el Segundo Objetivo 86
2.6.3. Metodología Tercer Objetivo 90
2.7. Eficiencia Térmica de la Cocina 92

CAPITULO III

3. Resultados Y Discusión 94

CAPITULO IV

Valoración Económica 119
Conclusiones 120
Recomendaciones 121
Bibliografía 122
Anexos 123

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1.1 Posición de la tierra con respecto al sol 24
Figura 1.2 Energía pasiva en el invierno y verano 25
Figura 1.3 Aprovechamiento de la energía solar con celdas fotovoltaicas y un colector 26
Figura 1.4 Radiación Solar del 2009 28

Figura 1.5 Humedad Relativa del 2009 28
Figura 1.6 Cocina solar tipo concentrador 30
Figura 1.7 Cocina de almacenamiento térmico 30
Figura 1.8 Cocina solar tipo caja 31
Figura 1.9 Masa Térmica 33
Figura 1.10. Materiales: estructura de aislamiento y resistentes a la humedad 34
Figura 1.11. Angulo de incidencia del sol 36
Figura 1.12 Angulo Azimut y Zenit 36
Figura 1.13 Equinoccios y Solsticios 38
Figura 1.14 Temperatura de Ebullicon 41
Figura 1.15 Sesgo 48
Figura 1.16 Corte de la cocina solar tipo caja 55
Figura 1.17 Velocidad de incremento de Temperatura Interior 57
Figura 1.18 Descripción física construida en Argentina 58
Figura 1.19 Gráfico de caja representando los valores medios del F1 de cada cubierta 60
Figura 1.20 Vista de la cocinas solares 61
Figura 1.21 Evolución de la temperatura del agua, placa y ambiente para una cocina 0º de inclinación 62
Figura 1.22 Comparación del efecto de las aletas reflectoras en la temperatura del agua en cocinas de 20º y 30º 62
Figura 1.23 Comparación del efecto de las aletas reflectoras en la temperatura en cocinas de 20º 62
Figura 1.24 Modelación numérica considerando disminución en los espesores de las paredes y fondo de la cocina solar. 64
Figura 1.25 Resultados de la cocinas solar Alta 66
Figura 1.26 Resultados de la cocinas solar Baja 66

CAPITULO II

Figura 2.1 Diagrama de Bloques del Proceso 72

Figura 2.2 Piranómetro Daystar 76
Figura 2.3 Termocupla tipo K 76
Figura 2.4 Termómetro 77
Figura 2.5 Multímetro 77
Figura 2.6 Esquema Geometría y Dimensiones de las Cocinas 78
Figura 2.7 Nivel de significancia 83
Figura 2.8 Rechazo o aceptación de la hipótesis 84

CAPITULO III

Figura 3.1a: Interacciones en base a profundidad de 20 cm 99
Figura 3.1b: Interacciones en base a profundidad de 25 cm 99
Figura 3.1c: Interacciones en base a profundidad de 30 cm 99
Figura 3.2 Resultados Regresión 103
Figura 3.3 Resultados Gráficamente 105
Figura 3.4 Modelo De Reflectividad y Profundidad 105
Figura 3.5 Resultado gráficamente sin Profundidad 106
Figura 3.6 Modelo sin Reflectividad 107
Figura 3.7 Modelo Temperatura con Reflectividad 108
Figura 3.8 Modelo Temperatura con Profundidad 109
Figura 3.9 Modelo de Temperatura con Angulo 110

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I

Tabla 1.1 Resumen de la radiación solar desde 2007 al 2009 27
Tabla 1.2. Humedad relativa desde 2007 al 2009. 28
Tabla 1.3 Régimen Pluviométrico 29
Tabla 1.4 Diseño de experiencias propuesto 59
Tabla 1.5 Primer factor de mérito calculado para cada experiencia 59
Tabla 1.6 Análisis de varianza para el diseño BIB 60
Tabla 1.7 Comparación del efecto térmico de las cocinas solares

con y sin aletas 61
Tabla 1.8 Resultados de los factores de Merito 1 63
Tabla 1.9 Descripción de las cocinas 65

CAPITULO II

Tabla 2.1 Reflectividad de los materiales 68
Tabla 2.2: Matriz del diseño experimental (Factores y niveles) 70
Tabla 2.3 Descripción físicas de las cocinas ensayadas 75
Tabla 2.4 Cuadro de Datos de Monitoreo 80
Tabla 2.5 Análisis de Varianza 85
Tabla 2.6 Datos Pi y Yi 86

CAPITULO III

Tabla 3.1 Factores y niveles 94
Tabla 3.2 Valores medidos de la temperatura T para los valores establecidos de las variables independientes Reflectividad (R), Profundidad (P) y Angulo (A). 95
Tabla 3.3 Valores medios Temperatura media Tm; Desviación Estándar (D) y Coeficiente de Variación (dado en %) (CV) de la temperatura para los valores establecidos de las variables independientes Reflectividad (R), Profundidad (P) y Angulo (A). 96
Tabla 3.4 Análisis de Varianza para determinar el grado de relación de las Repeticiones; Reflectividad R; Profundidad P; Angulo A; interacción Reflectividad, Profundidad RP; interacción Reflectividad, Angulo RA; interacción Angulo, Profundidad AP; y la interacción Reflectividad, Profundidad, Angulo RPA; con respecto a la temperatura T 97
Tabla 3.5 Análisis de regresión con tres variables 102
Tabla 3.6 Análisis de varianza de regresión con reflectividad y

profundidad 104
Tabla 3.7 Análisis de varianza de la Regresión con reflectividad y ángulo 106
Tabla 3.8 Análisis de varianza de la regresión con profundidad y Ángulo 107
Tabla 3.9 Análisis de varianza de la regresión con reflectividad 108
Tabla 3.10 Análisis de varianza de la Regresión profundidad 109
Tabla 3.11 Análisis de varianza de la Regresión con el ángulo 110
Tabla 3.12 Coeficiente de Correlación de los modelos 111
Tabla 3.13 Eficiencia térmica 118

SIMBOLOGIA

R1= Reflectividad del Espejo

R2= Reflectividad del Aluminio

R3= Reflectividad del Acero inoxidable

P1= Profundidad a 30cm.

P2= Profundidad a 25cm.

P3= Profundidad a 20cm.

A1= Angulo de 40.

A2= Angulo de 30.

A3= Angulo de 25.

T= Temperatura.

Y_{ijkl} = Es la medición de la temperatura obtenida.

μ = Es la media general del experimento.

α_i = Es el efecto que tiene el material

β_j = Es el efecto que tiene la profundidad

y_k = Es el efecto que tiene el ángulo

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Es la interacción que existe entre el material y la profundidad.

$(ay)_{ik}$ = Es la interacción que existe entre el material y el ángulo.

$(\beta y)_{jk}$ = Es la interacción que existe entre la profundidad y el ángulo.

$(\alpha\beta y)_{ijk}$ = Es la interacción que existe entre el material, la profundidad y el ángulo.

ρ_l = Es el efecto de las repeticiones.

ε_{ijkl} = Es el error experimental.

Ho: Hipótesis nula.

H1: Hipótesis Alternativa.

TM= Temperatura media.

D= Desviación estándar.

CV= Coeficiente de Variación.

Sr= Sumatoria de cuadrados de las replicas.

SR= Sumatoria de cuadrados del factor R.

SP= Sumatoria de cuadrados del factor P.

SA= Sumatoria de cuadrados del factor A.

SRP= Sumatoria de cuadrados de la interacción RP.

SPA= Sumatoria de cuadrados de la interacción PA.

SRA= Sumatoria de cuadrados de la interacción RA.

SRPA= Sumatoria de cuadrados de la interacción RPA.

SE= Sumatoria de cuadrados del error.

ST= Sumatoria de los cuadrados total.

Sr= Sumatoria media de los cuadrados de las replicas.

SR= Sumatoria media de los cuadrados del factor R.

SP= Sumatoria media de los cuadrados del factor P.

SA= Sumatoria media de los cuadrados del factor A.

SRP= Sumatoria media de los cuadrados de la interacción RP.

SPA= Sumatoria media de los cuadrados de la interacción PA.

SRA= Sumatoria media de los cuadrados de la interacción RA.

SRPA= Sumatoria media de los cuadrados de la interacción RPA.

SE= Sumatoria media de los cuadrados del error.

ST= Sumatoria media de los cuadrados total.

Fc= Fisher calculado.

Ft= Fisher tabulado.

VR= Varianza Residual.

VE= Varianza Explicada.

VT= Varianza Total.

EPO= Error probable de una observación.

r= Coeficiente de correlación.

EEE: Error estándar de estimación.

$f =$ Función de.

V = Volumen

ρ = Densidad

Cp = Calor Específico

T_i = Temperatura inicial del fluido

T_f = Temperatura final del fluido

t = Tiempo

A = Area

I = Radiación solar promedio

η = Eficiencia

SIMBOLOGÍA GRIEGA

μ = Miu

α = Alfa

β = Beta

ρ = ro

.

INTRODUCCION

Existe en la humanidad un gran interés por buscar formas alternativas a las energías convencionales. Esto justifica el desarrollo e investigación de las cocinas solares. En este contexto, nos centraremos en el estudio de cocinas que aprovechan la energía solar como fuente energética, la cual es convertida a energía térmica. Cabe mencionar que estas cocinas evitan, mediante su uso, el consumo de una cantidad importante de leña por año y su uso masivo, podría transformarse en una fuente de ahorro de energía y recursos naturales.

Las cocinas solares pueden clasificarse en tres grupos. Un grupo lo forman las cocinas tipo concentrador, las cuales tienen geometría generalmente parabólica, permitiendo concentrar la radiación solar en su foco donde se coloca el recipiente de cocción. Otro grupo lo forman aquellas cocinas solares que usan un colector separado de la caja para cocinar, el cual contiene un fluido que transporta la energía y muchas veces tienen un sistema de almacenamiento de calor, como por ejemplo, un tanque de aceite caliente. El tercer grupo lo constituyen las cocinas tipo caja las cuales dependen del efecto invernadero combinado con efectos de concentración.

Las cocinas tipo caja han sido desarrolladas en numerosos países debido a su bajo costo, fácil manejo y al comportamiento de muchos factores, entre los que podemos nombrar: los agentes climáticos, la aislación, las características de la superficie absorbedora, el ángulo de incidencia, la profundidad de la placa, el material de los reflectores, parámetros operacionales vinculados a las características del alimento a ser cocinado, el recipiente de cocción, etc.

Luego, una de las tareas críticas al desarrollar una cocina solar es identificar la conveniencia de los materiales a utilizar entre los cuales se encuentran el

de las placas reflectoras. Estos deben ser adecuados desde el punto de vista térmico y si es posible de bajo costo.
La intención del presente trabajo es contribuir al testeo de distintos tipos de materiales, a distintas profundidades así como a distintos ángulos de reflexión.

El estudio se realizó sobre tres tipos diferentes de materiales reflectantes, espejo, acero inoxidable y papel aluminio, tres profundidades distintas de 30, 25 y 20 cm y a tres distintos ángulos de reflexión 40, 30, 25 grados respetivamente utilizando tres cocinas solares tipo caja de idénticas características, en las que únicamente varia su profundidad en las cuales se realizaron las experiencias.

Se utilizó un diseño trifactorial por bloques al azar. La variable de respuesta seleccionada fue la temperatura, los ensayos térmicos se los realizo tomando en consideración las normas ASAES580.

Se analizaron los datos obtenidos utilizando técnicas de análisis de varianza y regresiones múltiples a los efectos de determinar la relevancia que los diferentes niveles expuestos en el experimento representan el comportamiento de la cocina solar para llegar a determinar la máxima eficiencia de estas.

TITULO

"Experimentación y Valoración Matemática De Cocinas Solares Tipo Caja"

PROBLEMÁTICA

Esta década a estado delineada fundamentalmente por el conservacionismo ambiental, los individuos de todas las partes del mundo incluso en los lugares más arraigados, están tomando conciencia sobre la importancia de la prevención y conservación de nuestro medio ambiente, tratando de esta manera de reducir al máximo la tala indiscriminada de bosques, así como el calentamiento global, es por ello que esta década ha recibido incluso el nombre de década verde o de la tierra.

Razón por la cual en la actualidad estamos adoptando nuevas tecnologías para reducir el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida, y es precisamente en este marco que uno de los problemas que hemos denotado es la cocción de alimentos, este problema arraiga costos en materia prima, ya sea gas industrial o madera, así que esta actividad concluye en daños colaterales al medio ambiente.

Dentro de este tema y como tecnología alternativa, hemos considerado el empleo de cocinas solares de caja, para la preparación de alimentos, razón por la cual planteamos realizar un estudio experimental que proporcione las regularidades del comportamiento de las cocinas solares tipo caja, considerando la influencia de los parámetros o variables que inciden en su rendimiento.

Cocinas de este tipo que en la actualidad se están usando han sido construidas de manera empírica, generalmente basadas en la experiencia de

sus creadores, sin tomar en cuenta parámetros básicos de operación, que aseguren la eficiencia y un uso óptimo de las mismas.

Por ende se hace imperiosa la necesidad de realizar un estudio más minucioso sobre este tipo de tecnologías para diseñar un prototipo de cocina solar más eficiente estudiando la posible influencia de los parámetros de diseño, teniendo en consideración que en la actualidad ya existe un estudio de una cocina solar con espejos reflectores interiores multipasos la misma que fue realizada en el área de energía las industrias y los recursos naturales no renovables.

En esta investigación se realizo un estudio del funcionamiento de una cocina solar tipo caja empleando, como parámetros a variar, espejos reflectores multipasos lo que no nos permite determinar la máxima eficiencia de una cocina solar puesto que existen muchas más variantes que intervienen para el diseño de una cocina solar.

PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

"No existe un estudio de los parámetros de diseño considerando grados de inclinación de reflectores, profundidad de la placa base, materiales de las placas de reflexión, para determinar su eficiencia"

PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE INVESTIGACIÓN.

- No están determinados los parámetros y sus niveles que inciden en el diseño de una cocina solar tipo caja.
- Desconocimiento del comportamiento de una cocina solar de caja considerando los distintos parámetros de diseño.
- Desconocimiento de los parámetros de diseño más adecuados para la construcción de una cocina solar tipo caja que asegure su máxima eficiencia.

OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento de una cocina solar considerando los parámetros de diseño como grados de inclinación de reflectores, profundidad de la placa base, materiales de las placas de reflexión, para determinar su eficiencia

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Establecer los parámetros y niveles de diseño de una cocina solar tipo caja.

- Realizar un estudio experimental para determinar el comportamiento de las cocinas solares tipo caja considerando: grados de inclinación de las placas reflectoras, profundidad de la placa base, materiales de las placas de reflexión.

- Determinar los parámetros más adecuados para el diseño y construcción de una cocina solar tipo caja, conociendo su máxima eficiencia.

CAPITULO I

1. Energía Solar

La energía solar captada por la tierra, y posteriormente disipada como irradiación infrarroja, determina el calentamiento o enfriamiento del aire, la cantidad de agua evaporada o precipitada, y las diferencias de presión que provocan vientos y brisas.

La radiación solar se genera por la superficie incandescente (5.700 ºK) del Sol, una estrella "enana" de 1,4 millones de Km de diámetro. La radiación recorre 150 millones de Km hasta llegar al exterior de la atmósfera de la Tierra, incidiendo con una intensidad constante de I_0 = 1353 W/m², llamada constante solar de la radiación extraterrestre.

1.1. El Sol Como Fuente De Energía

La energía que nos envía es 4.000 veces más grande que la que consumimos los humanos. Los seres fotosintéticos son capaces de aprovechar una media de 172 W/m2, la cual varía según la latitud y la estación del año se demuestra en la figura 1.

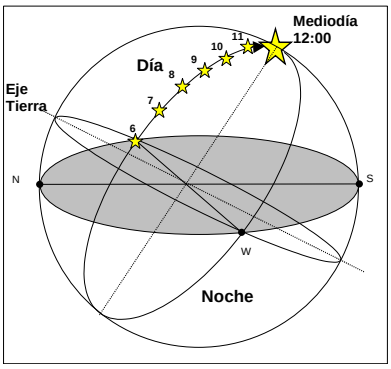


Figura 1.1. Posición de la tierra con respecto al sol

1.2. Transformación de la Energía

La energía solar es una energía radiante producida por el sol como resultado de reacciones nucleares de fusión. La recogida natural de energía solar se produce en la atmósfera, los océanos y las plantas de la Tierra. Las interacciones de la energía del Sol, los océanos y la atmósfera, por ejemplo, producen vientos, utilizados durante siglos para hacer girar los molinos.

La energía, una vez recogida, se emplea en procesos como en la energía solar pasiva, y la energía solar térmica.

1.2.1. Energía solar pasiva

Esta energía es el conjunto de técnicas dirigidas al aprovechamiento de la energía solar de forma directa, sin transformarla en otro tipo de energía, para su utilización inmediata o para su almacenamiento sin la necesidad de sistemas mecánicos ni aporte externo de energía, aunque puede ser complementada por ellos, por ejemplo para su regulación como se muestra en la Figura 1.2.

Las tecnologías que usan bombas o ventiladores consumen una significativa cantidad de energía para su funcionamiento y por ello se clasifican dentro de las tecnologías solares activas. Algunos sistemas solares pasivos pueden, no obstante, consumir una pequeña cantidad de energía necesaria para activar dispositivos que mejorarían el rendimiento de estos sistemas en la recolección, almacenamiento y uso de la energía solar.

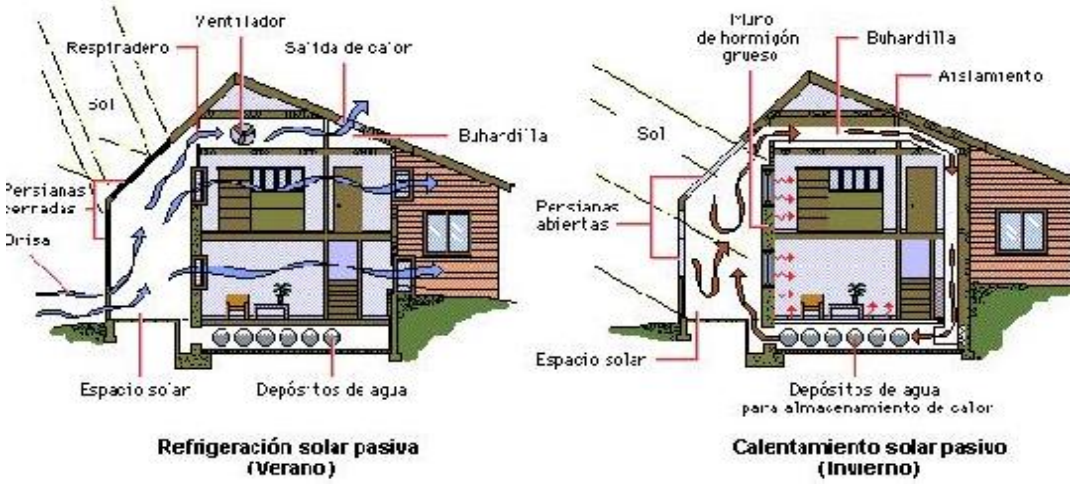
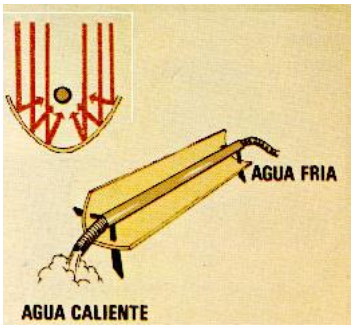


Figura 1.2. Energía pasiva en el invierno y verano

1.2.2. Energía solar térmica

La energía solar térmica o energía termosolar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y a partir de ella, de energía eléctrica demostrado en la Figura 1.3. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.



Celda Fotovoltaica Colector solar

Figura 1.3. Aprovechamiento de la energía solar con celdas fotovoltaicas y un colector

1.3. Climatología

Las características climatológicas, como cualquier otra parte del mundo, responden a una diversidad de factores que modifican su condición natural, tales como:

1.3.1. Ubicación Geográfica

Catamayo se encuentra a una altitud de 1.270 metros sobre el nivel del mar. Limita desde la ciudad de Loja a 36 Km, está ubicado hacia la parte nor-este de la provincia de Loja, en el cálido valle de Garrochamba (la Toma). Al norte con los cantones de: Loja, Chaguarpamba y parte de la provincia de El Oro; al Sur con el cantón Gonzanamá; al este con el cantón Loja y al Oeste con el cantón de Paltas.

1.3.2. Factores Climáticos

Los mismos factores del clima que afectan al País y a la región andina inciden sobre el territorio de la provincia de Loja; es decir, sobre la provincia actúan la zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), caracterizada por el frente Intertropical, el efecto de la Interacción de la Corriente del Niño y Corriente Fría de Humboldt, los vientos Alisios y la típica orografía serrana y costanera, e indudablemente la posición geográfica de zona ecuatorial ligada estrechamente con el factor de radiación solar.

El Ecuador se encuentra ubicado en la faja de bajas Latitudes (zona ecuatorial), significa que carece de variaciones estaciónales en la temperatura y que el gradiente térmico tenga un descenso de aproximadamente 5ºC por cada 100m de ascenso latitudinal; por eso, en la Sierra las condiciones de clima ecuatorial son temperadas.

El cantón Catamayo cuenta con un clima cálido seco y Subtropical húmedo en las parroquias muy agradables, su temperatura promedio es de 25 grados centígrados, Cuenta con una población de 27412 habitantes, su extensión territorial es de 649 Km^2

En la tabla 1.1 se muestra la radiación solar del 2007 al 2009, en la tabla 1.2 la humedad relativa del 2007 al 2009 y en la figura 1.4 la radiación del 2009, y en la figura 1.5 la humedad relativa del 2009.

RADIACIÓN SOLAR 2007-2009 (cal/cm^2)													
AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Promedio
2007	0	0	0	0	0	0	461	384	387	420	411	422	414
2008	380	333	430	411	364	358	332	376	410	421	426	455	391
2009	348	375	425	413	346	295	303	379	415	371	410	380	371
Media	364	354	430	411	364	358	396	380	398	421	418	438	403
Menor diaria	237	176											
Mayor diaria	539	536											

Tabla 1.1. Resumen de la radiación solar desde 2007 al 2009
Fuente: Malca

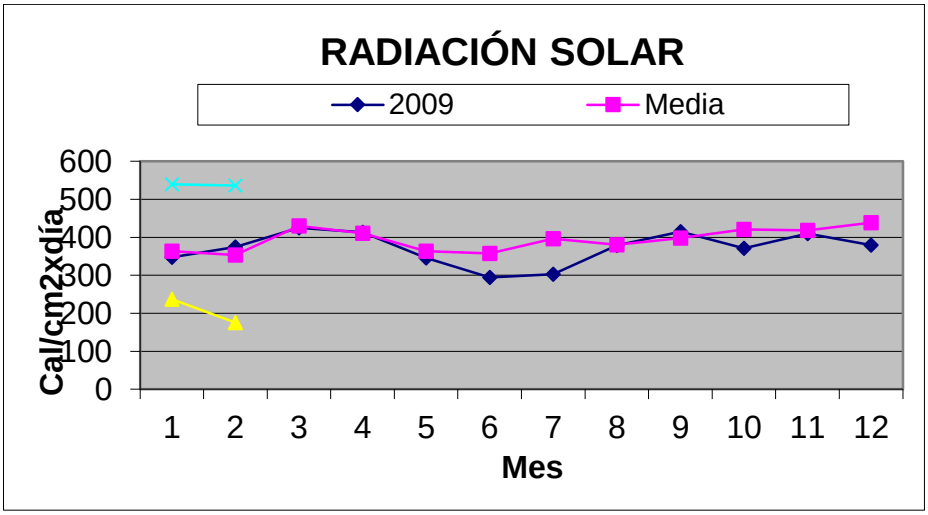


Figura 1.4. Radiación Solar del 2009
Fuente: Malca

HUMEDAD RELATIVA MEDIA % 2007-2009													
AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MEDIA
2007	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,3	57	54,1	65,2	69,4	67,6	61
2008	72	78	75	76	72	63	59	60	56	67	70	71	68
2009	76	73	83	72	69	63	58	57	52	47	61	67	64
MEDIA	73,5	75,9	157,6	148,4	140,6	125,9	85,0	87	81,1	89,6	69,9	69,2	96,5
Menor diaria	63,9	70,4											
Mayor diaria	84,6	85,9											

Tabla1.2. Humedad relativa desde 2007 al 2009
Fuente: Malca

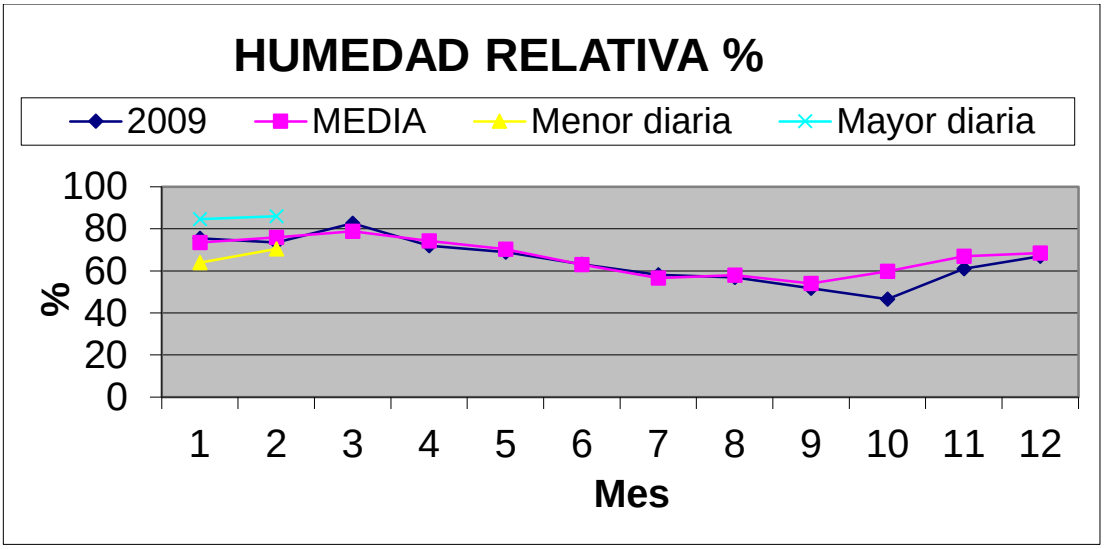


Figura 1.5.Humedad Relativa del 2009

Fuente: Malca.

1.3.3. Régimen Pluviométrico

Si se tomara en consideración, únicamente, la precipitación media anual que cae sobre la provincia, de aproximadamente 3550 mm, se podría decir que Loja es una provincia semihúmeda. Pero la realidad es diferente debido a la distribución espacial de la lluvia. En al el cantón Catamayo la precipitación anual es de 300 mm. Con ayuda del coeficiente pluviométrico de Angot, se determinaron los siguientes tipos de régimen pluviométrico (tabla 1.3) que siguen la orientación de la Cordillera de los Andes, de Norte a Sur.

Tipo I:	**Lluvia de enero a mayo (Tipo Costa).**
Tipo II:	Lluvia de diciembre a mayo.
Tipo III:	Lluvia de octubre a mayo.
Tipo IV:	Lluvia en todo el año, casi uniformemente distribuida.

Tabla 1.3 Régimen Pluviométrico

CAPÍTULO II

2. Cocina Solar

2.1. Tipos de cocina solar

2.1.1. Cocina solar tipo concentrador

Este tipo de cocinas solares con geometría generalmente parabólica (figura 1.6), permite concentrar la radiación solar en su foco. Estas típicamente utilizan un material reflectante para provocar que los rayos se concentren en el. En el foco se instala un pedestal, para instalar posteriormente una olla o elemento a calentar. Así los rayos solares concentrados inciden directamente sobre ella.

Figura 1.6 Cocina solar tipo concentrador

2.1.2. Cocina de almacenamiento térmico

Se denominan de esta forma porque su funcionamiento está basado en el principio de almacenamiento térmico utilizando un fluido (aceites térmicos). De esta manera se puede conducir la energía térmica hacia el interior de la casa, específicamente hacia la cocina. El aceite térmico se calienta por medio de un calentador solar que puede ser plano o parabólico de concentración, dependiendo de la temperatura que se pretenda alcanzar. Figura 1.7

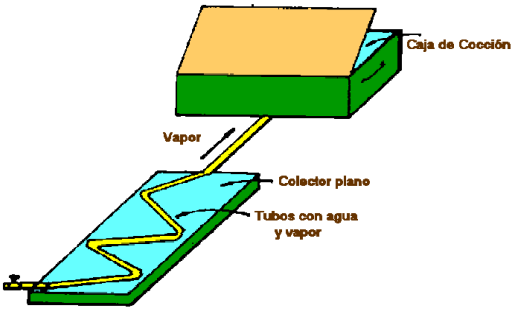


Figura 1.7: Cocina de almacenamiento térmico

2.1.3. Cocina Solar Tipo Caja

Constan de una cavidad aislada térmicamente por los cuatro costados y por la base, con una o dos cubiertas de vidrio en la parte superior. En el interior de la cavidad, sobre la base, se coloca una superficie metálica absorbente de color negro mate. Algunos de estos sistemas cuentan con reflectores planos a fin de poder conducir la mayor cantidad de radiación solar hacia el interior de la cavidad a través de las cubiertas de vidrio. Los alimentos preparados y listos para su cocción se colocan en recipientes adecuados (ollas), Figura 1.8

Figura 1.8. Cocina solar tipo caja

2.1.3.1. Funcionamiento De La Cocina Solar Tipo Caja

La radiación solar incide sobre el vidrio; de la cual el 90 % de la radiación solar atraviesa el vidrio y alcanza la lámina negra, esta emite radiación infrarroja, pero el vidrio es opaco a este tipo de radiación y es difícil salir de nuevo, de este modo la caja se convierte en una trampa de radiación solar, elevando su temperatura interior; dependiendo de la calidad de los aislantes que tenga y de la temperatura ambiente. La cocina pierde calor hasta alcanzar equilibrio. Los reflectores contribuyen a que la radiación que incide sobre ellos refleje sobre el vidrio e incremente la radiación captada, por lo que la cocina con los reflectores alcanza temperaturas elevadas. Se puede decir que en la cocina solar se optimiza el efecto invernadero; porque la

radiación que entra ya no sale. El recipiente para la cocción, también debe de ser pintado de negro mate.

2.1.4. Ventajas sobre otros tipos

- Tienen la ventaja de poder funcionar prácticamente sin la intervención del usuario.
- Mantienen el alimento caliente durante un tiempo prolongado.
- No producen molestia por deslumbramiento o reflexión.
- Son estables y no tienen riesgos de fuego o quemaduras.
- Pueden construirse a muy bajo precio, aunque es poco probable su uso diario en situaciones reales.

2.1.5. Desventajas sobre otros tipos

- Demoran en calentarse.
- El acceso a la olla o asadera no es fácil.
- Es muy insegura en su funcionamiento, debido a la nubosidad que abunda en nuestro país, y por lo tanto, no se puede depender de ella para comer.
- El tiempo de cocción es largo, comparado con las cocinas tradicionales, y las que son orientables, requieren de gran dedicación.
- El horario de comidas no podría ser fijo y estaría en dependencia de las condiciones climáticas de cada día.

2.1.6. Factores que intervienen en una cocina solar tipo caja.

- Agentes climáticos
- Aislamiento
- Características de la superficie absorbedora
- Tipo de cubierta transparente
- Parámetros operacionales vinculados a las características de los alimentos a ser cocinados

- Recipiente de cocción
- Profundidad de la cocina
- Materiales de las placas reflectoras
- Inclinación de las placas reflectoras
- Área de acumulación

2.1.7. Almacenaje de calor

Cuando la densidad y el peso de los materiales dentro del armazón aislado de la cocina solar aumentan, la capacidad de la caja de mantener el calor se incrementa. Figura 1.9

Estos materiales densos, cargados con calor, irradiarán ese calor dentro de la caja, Manteniéndola caliente durante un largo periodo de tiempo aunque el día se acabe

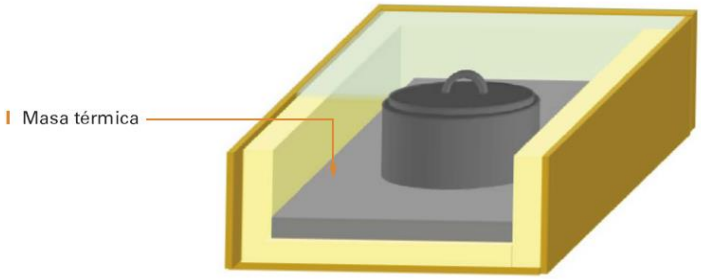


Figura 1.9 Masa Térmica

2.2. Diseño y Proporciones

2.2.1. Tamaño de Caja

Una cocina solar debe clasificarse según el tamaño tomando en consideración los siguientes factores que se representan en la figura 1.10

- ✓ El tamaño debe permitir la mayor cantidad de comida que se cocina normalmente.
- ✓ Si la caja necesita trasladarse a menudo, no debe ser tan grande como para dificultar esta tarea.
- ✓ El diseño de la caja debe adaptarse a los productos de cocina de que se dispone, o que se usan normalmente.

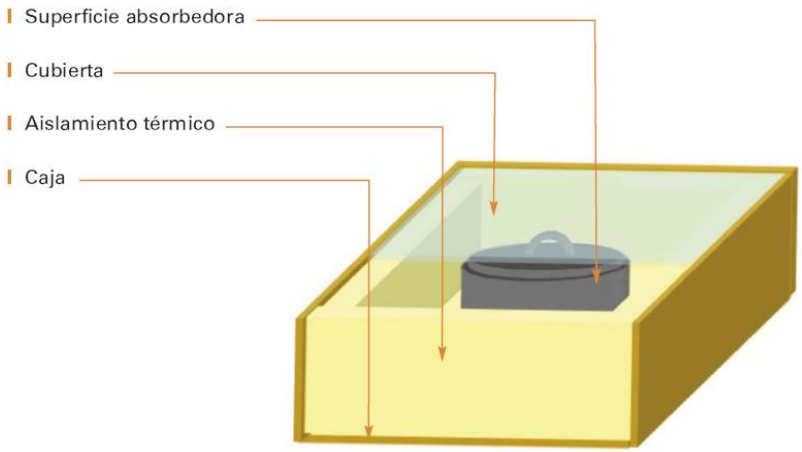


Figura 1.10. Materiales: estructura de aislamiento y resistentes a la humedad

2.2.2. Área de acumulación solar en relación al volumen de la caja

Siendo todo el diseño igual, cuanto más grande sea el área de captación de radiación solar de la caja en relación al área de pérdida de calor de la misma, tanta más alta será la temperatura de cocción. Dadas dos cajas que tengan áreas de acumulación solar de igual tamaño y proporción, aquella de menor profundidad será más caliente porque tiene menos área de pérdida de calor.

2.2.3. Reflectores

Se emplean uno o más reflectores para hacer rebotar luz adicional dentro de la caja solar a fin de aumentar la temperatura de cocción. Este componente es opcional en climas ecuatoriales pero incrementa el resultado de cocción en regiones templadas del mundo.

2.2.3.1. Materiales Reflectores.

En determinadas superficies, las ondas electromagnéticas que componen la luz solar, rebotan contra las moléculas componentes de esa superficie. Si el rebote fuese un 100% efectivo, la reflexión sería el total. Sin embargo, no existen los reflectores perfectos en la realidad, por lo que el porcentaje de luz reflejada por superficies especialmente diseñadas para ello no supera el 95%, lo que correspondería a un espejo común de buena factura.

2.2.3.2. Leyes de Reflectividad

Luz que viaje en la línea recta cuando incide sobre una superficie reflectora o Rebotadora, puede cambiar su trayectoria conforme dos leyes de la Reflexión siguientes:

Primera ley de reflexión.- La luz o energía incide sobre una superficie a un ángulo θi (ángulo de incidencia, medido a partir de la normal), este será rebotado (reflejado) a un ángulo θr (ángulo de reflexión, también medidos del normal) igual al ángulo de incidencia.

Segunda ley de reflexión.- Las tres líneas- rayos incidente, rayos reflejados y rayo normal están en el mismo plano.

2.2.3.3. Inclinación Necesario Para El Reflector

Es importante tener presente que la dirección de los rayos solares (o ángulo de incidencia) sobre la Superficie reflectora, siguen cambiando su dirección continuamente, movimiento aparente del Sol con respecto a la Tierra.

Para aprovechar la máxima radiación solar sobre superficie absorbedora, es muy importante variar el ángulo del reflector en tal forma que el ángulo del incidencia sea igual que ángulo del reflexión. Supongamos que AB es la superficie del vidrio y BC es el reflector cuyo ancho es el mismo que del vidrio. (Figura 1.11).

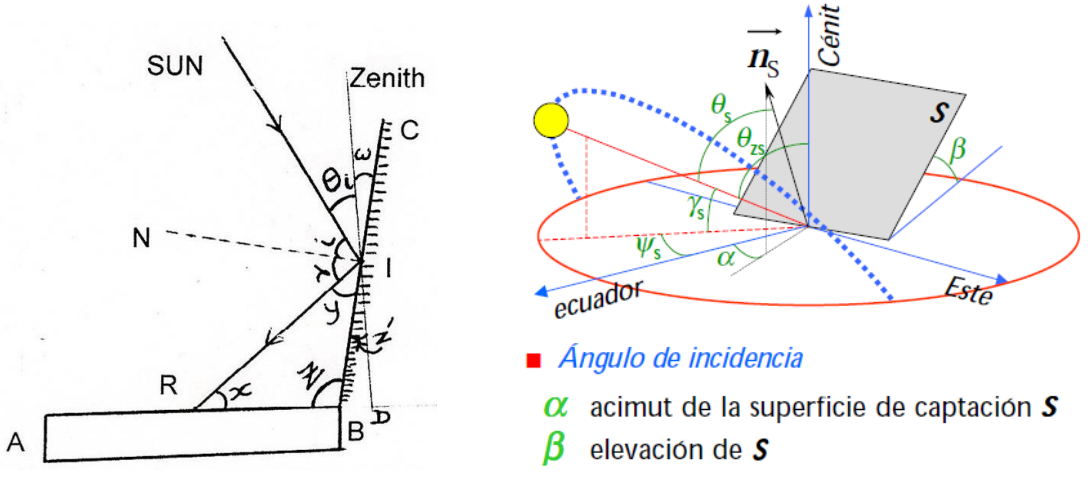


Figura 1.11. Angulo de incidencia del sol

2.2.3.3.1. Altitud Azimut y Zenit

La posición relativa del sol en el enfriamiento con respecto a un punto de la superficie terrestre puede definir por dos ángulos:

Altitud solar:- Es el ángulo comprendido entre la línea que pasa por el punto, el sol y la línea tangente a la superficie. Azimut.- Es el ángulo entre la proyección del sol en el horizonte y la línea norte-sur (toma valores positivos hacia el este y negativos hacia el oeste en ambos hemisferios). El ángulo complementario a la altitud solar se denomina Zenit solar. La posición del sol en el enfriamiento dependerá de la situación del punto en la tierra de la época del año y del momento del día. (Figura 1.12)

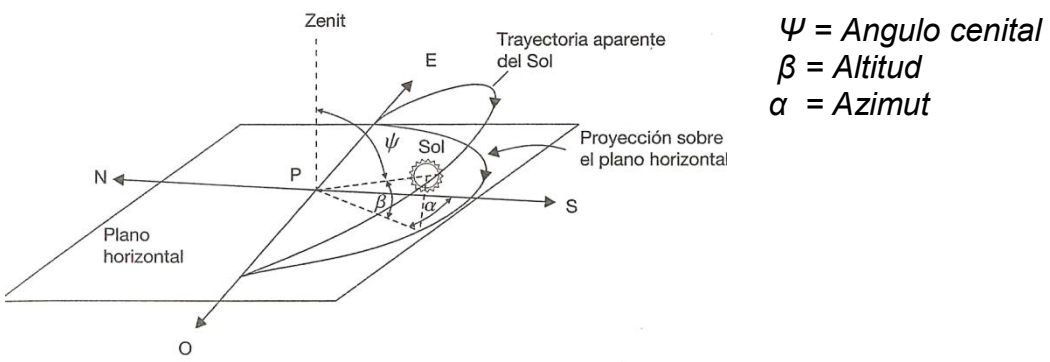


Figura. 1.12 Angulo Azimut y Zenit

El eje de rotación de la Tierra no es perpendicular al plano de su órbita (la llamada *eclíptica*), sino que forma un ángulo de 66º 33' con respecto a ella

(el ecuador también forma un ángulo con la eclíptica de 23,27º); este es el motivo de que se sucedan las estaciones primavera, verano, otoño e invierno, pues en caso contrario los días y noches tendrían la misma duración, al incidir los rayos del sol por igual en el hemisferio norte y sur (máxima incidencia en el ecuador), el clima dependería entonces de la latitud y no de la órbita terrestre; no existirían por tanto las estaciones.

No obstante a lo dicho anteriormente, a lo largo de la elipse que la Tierra describe en su trayectoria, hay dos puntos en el cual el Sol sí incide perpendicularmente sobre el ecuador, y en esos momentos el día y la noche tienen igual duración en ambos hemisferios (12 horas), a estos puntos se les llama *equinoccios*.

Hay dos equinoccios, el del 21 de marzo y el del 23 de septiembre, los cuales se denominan *equinoccio de primavera* o *equinoccio de otoño* dependiendo en que hemisferio suceda (Norte o Sur). El 21 de marzo el Sol sale por el Este, justo a la altura del ecuador, y se pone por el Oeste; en el hemisferio Norte es entonces el *equinoccio de primavera,* y en el hemisferio Sur el *equinoccio de otoño*; el día dura lo mismo que la noche y el Sol ilumina ambos polos a la vez, en el Polo Norte comienza un largo día que durará seis meses, mientras que en el Polo Sur comienza una larga noche que durará otro tanto.

Los puntos opuestos a los equinoccios son los *solsticios*, éstos corresponden a los dos puntos de órbita de la Tierra en la cual el día y la noche tienen la máxima diferencia, aquí el Sol no incide perpendicularmente sobre el ecuador, sino con la máxima inclinación posible dentro de la eclíptica; los dos solsticios son el del 21 de junio y el del 21 de diciembre.

El del 21 de junio marca el *solsticio de verano* en el hemisferio Norte y de invierno en el hemisferio sur; en este caso el Sol sale 23º 27' al norte del ecuador, es decir los rayos solares inciden perpendicularmente sobre este paralelo,

Por su parte, el solsticio del 21 de diciembre marca el comienzo del verano en el hemisferio Sur (*solsticio de verano*), y el de invierno en el hemisferio Norte (*solsticio de invierno*). En este momento el sol sale también con una inclinación de 23º 27', pero esta vez al Sur del ecuador en vez de al Norte; es el día más corto en el Norte y más largo en el Sur.

En la figura 1.13 se ilustra el movimiento de translación de la tierra en la eclíptica. Aquí se puede observar los equinoccios y solsticios los cuales son los factores que determinan los cambios de estaciones.

Figura 1.13 Equinoccios y Solsticios

2.2.4. Utilización de cocina solar tipo caja

Se ubica la cocina solar de cara al sol de forma que los rayos solares incidan sobre la cocina solar durante una buena parte del día. Las cocinas con reflectores deben ponerse hacia el sol de la mañana o de la tarde para hacer que cocine esos momentos del día. Las cocinas solares que se usan con reflectores en zonas templadas funcionan con temperaturas más altas si la cocina se reubica constantemente para encararla al sol cada una o dos horas. Este ajuste de posición hace que sea menos necesario que la dimensión este/oeste de la caja se incremente en relación a la dimensión norte/sur.

2.2.5. Factores Culturales

Lo mejor del diseño de una cocina solar dada es que encuentre criterios de tecnología apropiada, y lo más adecuado es aprovechar esto para usarlo. Una tecnología apropiada de bajo costo es simplemente hacer un hoyo poco profundo en el suelo, aislar la parte de abajo con hierba seca u hojas, colocar la comida o el agua en un recipiente oscuro, y colocar el cristal como tapa, se coloca en un recipiente oscuro la comida o el agua, puesto que este recipiente se calentara más fácilmente con la incidencia de los rayos solares en el interior de las cocinas solares por ende el proceso de cocción se dará en menor tiempo.

En el diseño de la cocina la tecnología es de alto coste, los mismos principios solares pueden usarse con una construcción estándar y con materiales aislantes, y con vidrios de alto rendimiento y baja emisividad.

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

La decoración exterior de cajas solares utilizando diversas pinturas y texturas también ayuda a integrar las cocinas en una cultura dada y protección contra diversas condiciones en que se encuentran las concinas como en casos de humedad. Hay muchas formas que pueden comprender la función solar. Hay otros variados factores que afectarán al diseño de las cocinas solares: la localización de la cocina solar y de la actividad de la cocina, el que la cocina sea fija o portátil, la hora del día que se usa y la importancia del cocinar como una actividad social.

CAPITULO III

3. Normas Para El Monitoreo De Cocinas Solares

Para realizar los ensayos térmicos existen tres tipos de normas a seguir que son las siguientes:

1. American Society of Agricultural Engineers Standard ASAE S580
2. Basis for the Bureau of Indian Standards Testing Method
3. European Committee on Solar Cooking Research Testing Standard

3.1. Procedimiento General Para Los Ensayos Térmicos Según Las Normas. ASAE S580

Este patrón especifica que los resultados que son presentados como poder de cocción, en Watts; normalizados para condiciones ambientales, relativas con la diferencia de temperatura entre contenedores de cocción y ambientales, ambos tienen un trazo como una regresión en la ecuación por no menos de 30 observaciones totales por 3 diferentes días.

3.1.1. Variables No Controladas

3.1.1.1. Viento

Se recomienda realizar el test de edicion cuando la velocidad del viento es inferior a 1.0 [m/s], a la altura de la cocina solar testeada. Si el viento permanece a 2.5 [m/s] más de 10 min, descartar el ensayo. La razón radica en que las pérdidas de calor están fuertemente influenciadas por la velocidad del viento. Velocidades del viento menores 1 [m/s] ayudan a mantener un coeficiente de pérdidas de calor cercano al coeficiente de convección natural, produciendo resultados que son más consistentes.

3.1.1.2. Temperatura ambiental

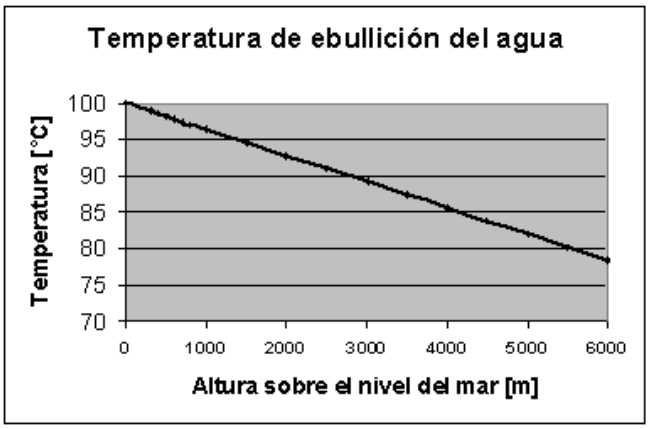
La prueba deberá ser conducida cuando la temperatura ambiente este entre 20 °C y 35 °C. Esto debido a que temperaturas ambientales extremas en un

lugar pueden ser difíciles de reproducir en otro lugar. Además la potencia de cocción es influenciada por la diferencia de temperatura entre la cámara interna y la temperatura ambiente. Un valor de 15 °C mantiene una variabilidad moderada, aun permitirá testear en la mayoría de las localidades durante al menos la mitad del año.

3.1.1.3. Temperatura del agua

Los datos de las pruebas deberán ser grabados mientras se realiza la cocción de los contenidos en los recipientes el cual sería el agua que serán temperaturas entre 5°C por sobre la temperatura ambiente y 5°C por debajo de la temperatura de ebullición local.

Los procesos de cocción van a cambiar de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar en que se esté cocinando, es sabido que la ebullición del agua a nivel del mar, ocurre a 100 °C, mientras que en topografías de mayor elevación sobre el nivel del mar, ocurre a menor temperatura. La Figura 1.14, indica la reducción en el punto de ebullición del agua a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar.



La Figura 1.14 Temperatura de Ebullición

3.1.1.4. Insolación

La energía solar disponible es medida en un plano perpendicular a la radiación directa (así se obtiene la máxima lectura de medición) usando un piranómetro. Variaciones en la medición de insolación superiores a 100

[W/m2] durante un intervalo de 10 minutos, o cuando las lecturas están por debajo de 450 [W/m2] o sobre los 1100 [W/m2] durante el test de medición, invalida la lectura. Razón: Mantener moderada las fluctuaciones de niveles de insolación reduce la variabilidad causada por los efectos de inercia.

3.1.1.5. Ángulo Solar Zenit y Angulo Azimut

Las pruebas deberán ser conducidas entre las 10:00 y las 14:00 durante el período de sol. Las excepciones que sean necesarias por la variación solar o temperatura ambiental habrán de ser especialmente apuntadas.

3.1.2. Variables Controladas

3.1.2.1. Carga

Las cocinas deberán tener 7000 gramos de agua potable por metro cuadrado, el área interceptada distribuida igualmente entre las vasijas suministradas para la cocción y la cocina. Si no existen vasijas provistas, serán usadas vasijas económicas de aluminio pintadas de negro.

3.1.2.2. Localización

La frecuencia de localización del ángulo Azimut debe ser apropiada para el ángulo de aceptación de la cocina. Las cocinas solares tipo caja típicamente requieren ajustes entre 15 y 30 minutos o cuando la sombra aparece en la placa absorbente. Las unidades de tipo concentrado podrían requerir ajustes con mayor frecuencia para mantener la imagen solar enfocada en el recipiente de cocción o el absorbente. Con las cocinas solares tipo caja, localizar el ángulo Zenit podría ser innecesario durante unas dos horas de conducción de la prueba al medio día. La evaluación será representativa de las condiciones locales.

3.1.2.3. Detección de temperatura

La temperatura del aire y agua deben ser detectadas con termocuplas. Cada empalme de termocuplas serán sumergidos en el agua colocada en el recipiente de cocción, estas termocuplas deben estar colocadas a 10mm del

fondo del recipiente de cocción, tratando de colocarlas en su centro geométrico. Las termocuplas deberán ser guiadas a través de las tapas de los recipientes de cocción dentro de una manga no conductora para proteger el cable del termocuplas de una curva o inclinación y de temperaturas extremas. La manga deberá ser asegurada con una protección de 100% silicona para reducir la pérdida de vapor de agua.

CAPITULO IV

4. Introducción al diseño de experimentos

4.1. Diseño experimental

Un diseño experimental es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en los factores que presuntamente inciden sobre un proceso con el fin de observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

Se establece un grupo de factores (x_1, x_2, x_3 , ...) cuya incidencia en el comportamiento de la variable respuesta (**y**) se desea estudiar con alguno de los objetivos siguientes:

1. Determinar cuáles variables tienen mayor influencia en la respuesta **y**
2. Determinar el mejor valor de las **x** que influyen en **y**, de modo que **y** tenga casi siempre un valor cercano al valor nominal deseado.
3. Determinar el mejor valor de las **x** que influyen en **y** de modo que la variabilidad de **y** sea pequeña.
4. Determinar el mejor valor de las **x** que influyen en **y,** de modo que se minimicen los efectos de las variables incontrolables (z_1, z_2, ..., z_q).

En muchas ocasiones los procesos estudiados son complejos, por lo que no hay un conocimiento preciso de su comportamiento; entonces es conveniente construir un modelo empírico que simule de forma aproximada el comportamiento. El desarrollo de este tipo de herramienta comprende las siguientes etapas:

1. Formular una hipótesis (modelo propuesto)
2. Experimentar para obtener los datos empíricos.
3. Ajustar el modelo a los datos, es decir estimar los coeficientes del modelo o coeficientes de regresión para cada variable de proceso.

4. Evaluar los resultados para determinar si la hipótesis seleccionada es aceptada o no.

4.1.1. Procedimiento para diseñar Experimentos

Con el fin de organizar el planeamiento de un experimento y posteriormente utilizar métodos estadísticos para el análisis de los resultados, existen diversas metodologías. Se ofrece a continuación una metodología general:

4.1.1.1 Formular el problema

Todas las metodologías relacionadas con los métodos estadísticos se inician con la determinación del problema a abordar y su formulación, esto debe indicarnos su importancia. Un planteamiento claro del problema favorece la calidad del diseño.

En esta etapa queda definido además el objeto de la investigación, sus objetivos, el diagnóstico del objeto de investigación, la determinación de tendencias y el planteamiento de la hipótesis.

4.1.1.2 Elección De Factores Y Niveles

Deben elegirse los factores que se estudiarán en el experimento y los niveles de tales factores. También el tratamiento que se dará al resto de los factores. En general el tratamiento que se dará a los factores será uno de los siguientes:

1. Controlarlos a un nivel
2. Controlarlos a más de un nivel

Los factores estudiados en el perfil de las ingenierías generalmente se controlan a más de un nivel.

4.1.1.3 Selección De La Variable Respuesta

Se trata en nuestro caso generalmente de seleccionar la característica de calidad. En realidad con un solo experimento podemos seleccionar varias características de calidad al mismo tiempo.

4.1.1.4 Elección Del Diseño Experimental

Deben tenerse en cuenta los tres principios básicos: Número de repeticiones; orden u otras restricciones de aleatorización y determinar si se hace bloqueo.

4.1.1.5 Realización del Experimento de Acuerdo a lo Planeado.

Para la realización del experimento se debe tener presente los siguientes conceptos que son básicos antes de incursionar en el diseño de experimentos.

4.1.1.5.1 Tratamiento

Es el término que se emplea para denominar al conjunto particular de condiciones experimentales que se le imponen a una unidad de muestreo.

4.1.1.5.2 Unidad Básica

Es la menor unidad de medición en un experimento.

4.1.1.5.3 Unidad Experimental

Es la menor unidad de muestreo en el diseño; puede estar formada por una o más unidades básicas.

4.1.1.5.4 Réplicas o Bloques

Es un conjunto de unidades experimentales que se agrupan atendiendo a una característica común, por ejemplo: igual o similar fertilidad, pendiente del terreno y nivel de humedad del suelo; grupos de animales procedentes de una misma camada, igual masa, edad, etc.

4.1.1.5.5 Factores y Niveles

Frecuentemente se observan variaciones en los valores de una variable denominada variable dependiente cuando a otras variables independientes se les cambian algunos de sus valores o clasificaciones. En términos del diseño experimental a estas variables independientes se les denominan factores, entendiéndose por niveles los diferentes valores o clasificaciones que puede tomar un factor dado.

4.1.2 Precisión y Exactitud

Aunque desde el punto de vista semántico estas dos palabras poseen significados muy similares, ambas encierran conceptos diferentes:

4.1.2.1 La Precisión

Está relacionada con la aproximación de las observaciones repetidas, en una variable o característica, al estadígrafo que se está calculando, de aquí que la medida directamente asociada a la precisión lo constituya la varianza del estadígrafo.

4.1.2.2 La Exactitud

Es una medida de la aproximación o capacidad del estimador a acercarse al verdadero valor del parámetro; cualquier desviación entre el parámetro o su estimador, constituye un sesgo en la estimación.

De esta forma, pueden existir mediciones con mucha precisión y baja exactitud y viceversa, siendo lo deseable obtener mediciones precisas y exactas.

Una mala interrelación entre la exactitud y la precisión en un diseño experimental daría paso a la formación de los sesgos.[1]
En la siguiente figura 1.12 se ilustra la relación que existe entre la precisión y exactitud para la formación del sesgo.

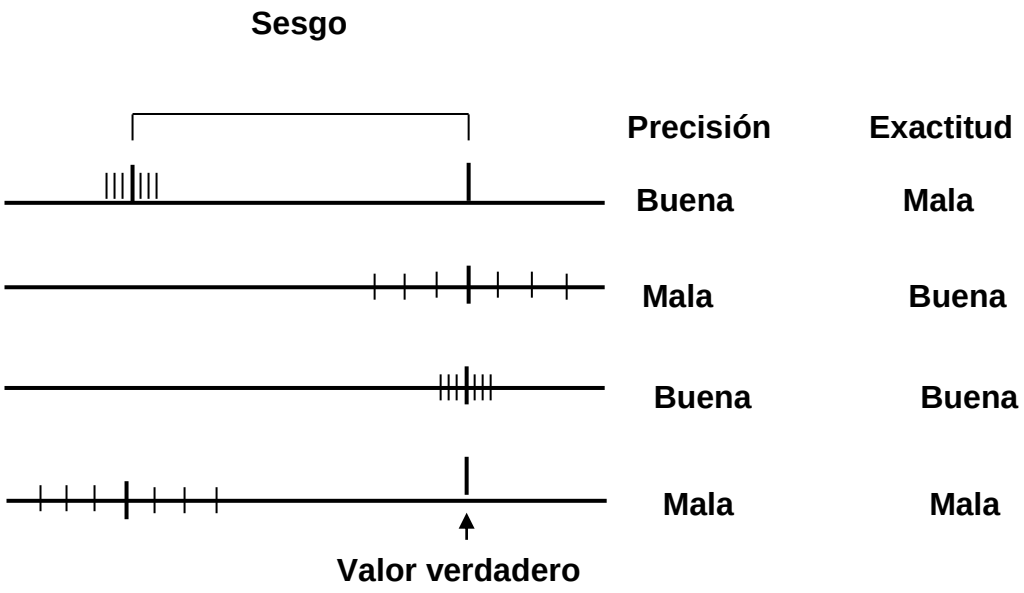


Figura1.15: Sesgo de la relación Precisión y Exactitud

Un estimador insesgado provee estimaciones exactas, y un estimador eficiente aporta estimaciones precisas, de aquí la importancia de utilizar estimadores insesgados y de mínima varianza.

4.1.3 Errores en la Experimentación

Los resultados experimentales siempre vienen afectados por diversos errores, desde los errores groseros o de equivocación, hasta los errores sistemáticos y aleatorios:

Sesgo[1]: Es un Error Sistemático, es NO ser Exactos, es No tener Validez Interna.

4.1.3.1 Errores Sistemáticos

Este tipo de errores suelen originarse por imperfecciones en los medios de medición en general, incluyendo las observaciones y apreciaciones que hacen los observadores; ejemplos de ello pueden ser cuando una balanza tiende de manera "sistemática" a incrementar o disminuir el verdadero valor de la medición, o cuando observadores diferentes asocian escalas diferentes a un mismo objeto; estas mediciones nunca proporcionan el verdadero valor de la magnitud y se dice que la muestra tiene un error sistemático, una desviación o un sesgo.

Estos errores son indeseables en la investigación y deben ser evitados a toda costa.

4.1.3.2 Errores Aleatorios o experimentales

Se aprecia su existencia cuando unidades totalmente homogéneas y sometidas a condiciones experimentales comunes, tienen respuestas diferentes.

Estos errores siempre están presente en la investigación, por lo cual se hace necesario conocer de su existencia y tratar en lo posible de hacer mínima su varianza.

4.1.4 Repeticiones por Tratamientos

El número de repeticiones por tratamiento es el número de unidades experimentales a las cuales se aplica un mismo tratamiento.

Todos los métodos estadísticos para ser aplicados necesitan una estimación de la varianza experimental y la única forma de lograrlo es aplicando los tratamientos a más de una unidad experimental

4.1.5 Aleatorización

Se refiere al grado de azar con que los tratamientos son asignados a las unidades experimentales, y ello constituye la vía necesaria para hacer válidas las conclusiones a que se arriben al usar métodos estadísticos inferenciales.

4.1.6 La Precisión Y Exactitud En Los Resultados Experimentales

En el diseño experimental la precisión y exactitud revisten gran importancia; un aumento en la precisión significa una disminución de la varianza del error experimental y por ende un aumento en la potencia de las dócimas a desarrollar así como una disminución de los intervalos de confianza de los parámetros estimados, en tanto que una buena exactitud evita posibles desviaciones o sesgo en las estimaciones de los parámetros. De aquí que conseguir aumento en la exactitud y una buena precisión en el trabajo experimental, constituya objetivo supremo del trabajo del estadístico.

4.1.6.1 Vías para incrementar la precisión y exactitud en el Diseño Experimental

Una exactitud y un aumento en la precisión en el diseño experimental pueden obtenerse mediante tres vías fundamentales:

4.1.6.1.1 Refinar la técnica experimental

Poco puede hacer la Estadística Matemática y en particular el Diseño Experimental, si el experimento ha sido desarrollado con una baja técnica. La aplicación de una cuidadosa técnica en la conducción de un experimento es fundamental, con ella se reduce la posibilidad de aparición de sesgos indeseables en la experimentación.

4.1.6.1.2 Manejar el material experimental

De tal manera que los efectos de variabilidad se reduzcan. Mediante el empleo adecuado de las herramientas y alternativas de análisis que proporciona la Estadística Matemática se pueden lograr un mejor control de los efectos de variabilidad del error experimental, ello incide en una mejor estimación de los parámetros y disminución en la longitud de los intervalos de sus intervalos de confianzas y una mayor potencia en sus pruebas de hipótesis. Estas pueden resumirse en:

a) Tipo de diseño experimental
b) Tamaño y forma de las unidades experimentales
c) El uso de observaciones concomitantes
d) Otras formas de control

Como puede apreciarse esta vía no reclama del empleo de otros recursos adicionales que puedan encarecer el proceso, sino se trata de manejar los disponibles de manera adecuada, de aquí esta que constituya la forma más económica de control de la varianza del error experimental.

4.1.7 Análisis de Datos

Se realizará utilizando métodos estadísticos que se escogerán de acuerdo al diseño seleccionado. Un buen análisis tendrá en cuenta que los métodos estadísticos constituyen un instrumento que debe ser complementado con los criterios de los especialistas y por supuesto con el sentido común.

4.1.8 Análisis De Varianza

Este método fue desarrollado entre 1918 y 1935 por R. A. Fischer, consiste en una técnica estadística para analizar mediciones que dependen de varias clases de efectos que operan de manera simultánea, para estimar los efectos y decidir cuáles de ellos son importantes en el modelo. Este autor

introduce los términos de varianza y análisis de varianza en la Estadística no con el propósito del estudio de la varianza propiamente, sino al estudio de la variación experimental.

Esta técnica consiste en un conjunto de procedimientos que se adaptan a las características del diseño experimental empleado y permite el análisis de datos provenientes de ensayos aleatorios comparativos.

Esta técnica consiste en obtener a través de las sumas de cuadrados las estimaciones de las desviaciones de las observaciones y de las medias de tratamientos, respecto a la media general, las cuales son identificadas como las sumas de cuadrados total y de tratamientos respectivamente, para calcular a partir de éstas la suma de cuadrados del error.

4.1.9 Varianza

La varianza te indica la variabilidad que tienen un conjunto de datos

Siendo una constante que representa una medida de dispersión media de una variable aleatoria X, respecto a su valor medio o esperado. Puede interpretarse como medida de variabilidad de la variable.

4.1.10 Covarianza

Es el estadístico que mide la relación entre dos variables. Una covarianza 0 indica que no hay relación alguna, mientras que valores altos implican que el valor de una está muy ligado al valor de la otra variable.

El análisis de Covarianza, además de efectuar la prueba correspondiente a un Análisis de Varianza normal, permite evaluar la influencia de esa variable a través de un Análisis de Regresión. Por eso se dice que éste es una combinación entre estas dos técnicas, así éste puede llevarse a cabo bajo cualquier diseño experimental. En este

material esta técnica se desarrollará para el caso de un diseño bloques al azar, los demás diseños no presentan mayores complejidades.

4.1.11 Regresión

Permite el análisis de cómo es el comportamiento de una única variable respuesta o variable dependiente cuando en ella incide la variación provocada en niveles, fijos o aleatorios, de una o más variables independientes llamadas factores.

La técnica estadística que se ocupa del estudio acerca del análisis de la forma y fortaleza de la relación o asociación entre variables aleatorias es el Análisis de Regresión, en su inicio solo se desarrolló para variables aleatorias continuas, pero en la actualidad se emplea en variables discretas e incluso en otras que poseen un carácter cualitativas, aunque con enfoques diferentes

Atendiendo a las características de las variables involucradas, la propia de la relación que entre ellas se establece, hasta el propio análisis que hay que efectuar de acuerdo a los objetivos el estudio, origina diferentes situaciones:

Una situación puede estar dada cuando entre dos variables se establece una influencia recíproca de una sobre la otra, esta relación siempre existe sin que sea necesario realizar una acción externa en los valores de cada una de ellas para que la relación se manifieste.

Otra situación se presenta cuando en una variable se producen variaciones en su comportamiento en la medida que se efectúan cambios en los valores de otras variables. Se trata entonces de una variable independiente controlable o explicativa, que admite una acción externa para tomar sus valores, y una variable dependiente o respuesta, que varía en función de los cambios en la primera; entre las que se establece una relación o regresión.

En el caso de la correlación el objetivo se centra en evaluar el grado y la fortaleza de la interrelación existente entre las variables; en tanto que en la regresión el principal propósito estar dado en encontrar una expresión que caracterice a esta relación, o predecir el comportamiento de la variable respuesta a partir de la variable explicativa.

Los términos de correlación y regresión se deben usar de manera distinta, se percatará el lector que se trata de dos conceptos diferentes y con objetivos también distintos.

CAPITULO V

5. Análisis Comparativo Sobre Otros Diseños De Cocinas Solares

5.1 Cocinas Solares Construidas En Loja

Estas cocinas solares lo construyeron en la Universidad Nacional de Loja, por Fanny Cuenca, Rudid Loyola, Alex Ordoñez, Marco Saritama, estudiantes del decimo modulo de la carrera de Ingeniería Electromecánica en el año 2005, en el Área de energía las Industrias y los Recursos Naturales No renovables. Cabe mencionar que los ensayos térmicos los realizaron en los cantones Zapotillo y Macara.

Materiales Utilizados

Para la construcción de las cocinas solares tipo caja utilizaron los materiales que se detallan a continuación.

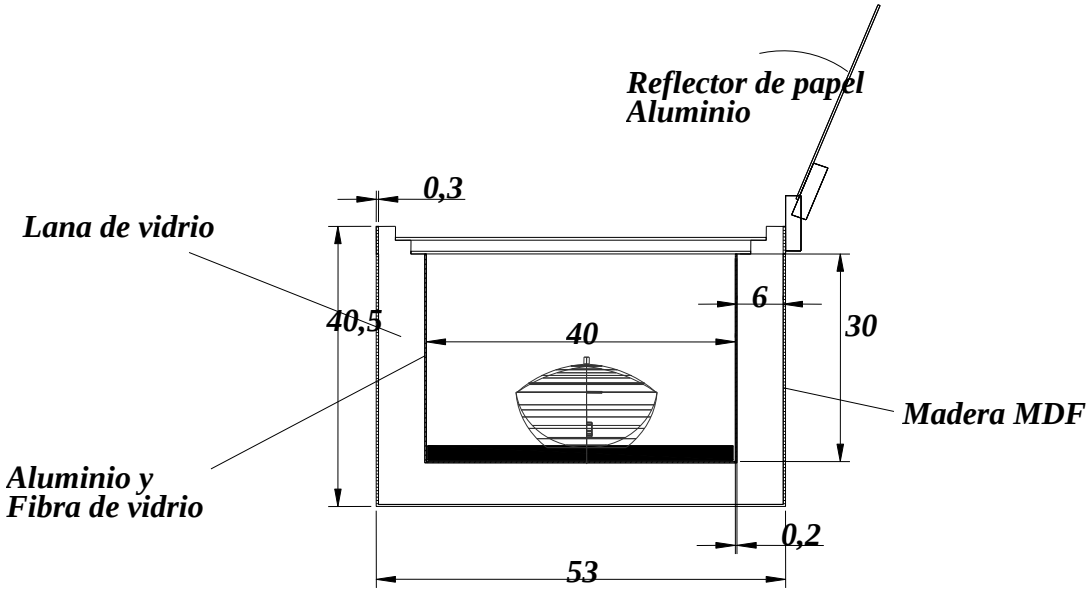


Figura 1.16: Corte de la cocina solar tipo caja

- Material para la caja (plywood.)
- Lamina de hierro
- Papel aluminio
- Aislante (aserrín, lada de vidrio poliuretano, etc.)
- Pintura negra termoresistente
- 2 Vidrios 3 mm.
- Espejos

Dimensiones y Construcción

Para la realización de las cocina solares tipo caja, se construyeron dos cajas, una interior de 46 x 56 x 20 cm, y otra exterior de 56 x 66 x 25 cm,

colocaron una dentro de la otra, de manera que en el interior quede un espacio de 5 cm. para colocar el aislante, se pego el papel aluminio en el interior de las dos cajas respectivamente, con la cara brillante orientado hacia el interior de la cocina. Los aislantes que se utilizó fueron poliuretano (espumaflex), aserrín, lana de vidrio. Para la construcción de la tapa se utilizó 2 vidrios templados colocados paralelamente entre sí, de manera que queden distanciados entre sí 1 cm. La construcción de la lámina absorbedora se hizo de latón, con dimensiones para que entre en el interior de la cocina, doblada 1cm en los cuatro lados, con el fin de evitar que se humedezca la cocina en caso de que se derrame agua, además se pintó de color negro mate, para aumentar su capacidad de absorción de radiación. Los reflectores los construyeron de papel aluminio o espejos.

Análisis de Resultados

Después que realizaron el análisis de las cocinas solares construidas en la ciudad de Loja, observaron que las cocinas tienen las mismas dimensiones y lo que variaron son los materiales para los reflectores y el aislamiento. De esto concluyeron que la cocina que utiliza como reflector el aluminio y lana de vidrio como aislante es la que adquiere mayor eficiencia térmica.

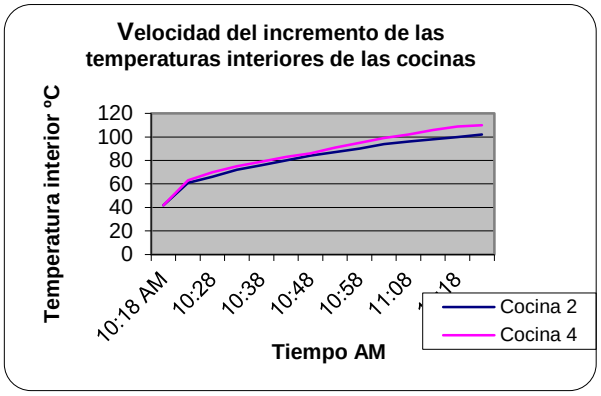


Figura 1.17: Velocidad de incremento de Temperatura Interior

5.2 Cocinas Solares Construidas En Argentina

El sistema físico ensayado por A. Lema, M. Pontin, M. Ghirardotto, A. Sanmartino, en la Universidad Nacional de Río Cuarto en la Facultad de Ingeniería mecánica, Córdoba, Argentina en el año 2006, constituido por dos cocinas solares gemelas tipo caja. Las mismas se construyeron por una caja de chapa metálica no regular pintada de negro mate que actúa como superficie colectora y está contenida dentro de una estructura realizada en madera liviana (fibrofácil de 5 mm de espesor).

Entre la superficie colectora y la estructura de madera se colocó como aislante fibra de vidrio de 5 cm de espesor. La superficie transparente inclinada 60º respecto a la vertical y admite diferentes materiales de cubierta doble vidrio, vidrio simple, policarbonato y acrílico, los cuales las fijaron con sellador de siliconas. Para aumentar la cantidad de radiación captada dispusieron cuatro reflectores construidos en cartón de alta densidad recubiertos con papel aluminio.

La geometría y dimensiones de las cocinas solares construidas se presentan en la figura 1.15

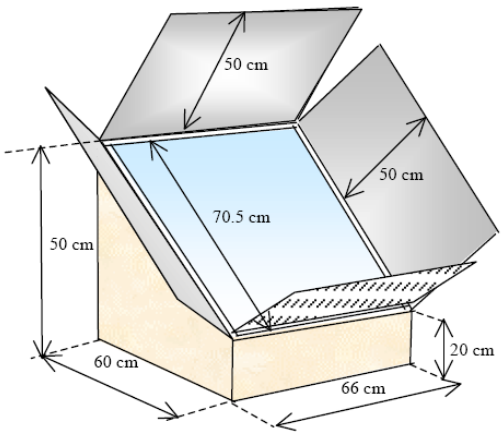


Figura 1.18: Descripción física construida en Argentina

Características de los ensayos

Un día antes de comenzar los ensayos térmicos determinaron la superficie proyectada sobre el plano horizontal midiendo la sombra de la cocina con los reflectores abiertos en la posición óptima en el mediodía solar, esto con la finalidad de poder calcular el primer factor de merito. El área proyectada horizontal Aph que obtuvieron fue de 1,2 m^2. Existen varios tipos de pruebas y métodos para evaluar las cocinas solares, uno de ellos es el primer factor de mérito F1 el cual se interpreta como la relación entre la eficiencia óptica de la cocina y las pérdidas de calor al exterior desde la placa.

Diseño estadístico de las experiencias y tratamiento de los datos

Con la finalidad de poder determinar si existe evidencia experimental acerca de un comportamiento heterogéneo entre las diferentes cubiertas, y considerando que se disponía solamente de dos cocinas para realizar las experiencias, sobre las cuatro cubiertas, seleccionaron un diseño de experiencias por bloques incompletos. Además, como las comparaciones entre todos los tratamientos tenían la misma importancia optaron por un modelo balanceado por bloques incompletos completamente aleatorizados (BIB).

De acuerdo a este diseño realizaron un total de 24 experiencias en 12 días. Las cuatro cubiertas ensayadas constituyen los tratamientos y los diferentes días, los bloques. Realizaron dos experiencias por bloque que corresponden al ensayo de las dos cocinas en un día. La elección de los tratamientos por bloque la realizaron de forma totalmente aleatoria. Tabla 1.4

Tratamientos Cubiertas	Bloques (Días)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Doble vidrio	Cocina 2	Cocina 2	Cocina 2				Cocina 1	Cocina 1	Cocina 1			
Vidrio Simple			Cocina 1	Cocina 1	Cocina 1				Cocina 2	Cocina 2	Cocina 2	
Acrílico	Cocina 1			Cocina 2		Cocina 1		Cocina 2		Cocina 1		Cocina 2
Policarbonato		Cocina 1			Cocina 2	Cocina 2	Cocina 2				Cocina 1	Cocina 1

Tabla 1.4: Diseño de experiencias propuesto

A partir de los factores de mérito (F1) que calcularon para cada una de las experiencias, realizaron un análisis de varianza (ANOVA), para los diferentes

tratamientos para probar estadísticamente si existe diferencia o no entre las cubiertas ensayadas. Lo que significa probar la hipótesis nula, esto es, que la incidencia de las diferentes cubiertas en el comportamiento de las cocinas solares en todos los casos es igual, contra la hipótesis alternativa general que se plantearon, las cubiertas ensayadas no se comportan en todos los casos de igual manera.

Resultados Obtenidos

En la tabla 1.5 se presenta el valor del primer factor de mérito que calcularon para cada experiencia, a partir de los datos obtenidos.

Tratamientos Cubiertas	Bloques (Días)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Doble vidrio	0.086	0.087	0.0849				0.083	0.085	0.083			
Vidrio Simple			0.0783	0.081	0.082				0.070	0.079	0.070	
Acrílico	0.085			0.082		0.079		0.071		0.079		0.082
Policarbonato		0.075			0.086	0.073	0.071				0.082	0.080

Tabla 1.5: Primer factor de mérito calculado para cada experiencia

Los resultados que obtuvieron en el análisis de varianza se presentan en la tabla 1.6.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F	Prob. > F
Tratamientos	$3.0073\ 10^{-4}$	3	$1.0024\ 10^{-4}$	1.6536	0.2455
Bloques	$1.3532\ 10^{-4}$	11	$1.2302\ 10^{-5}$	0.2029	0.9540
Error	$5.4575\ 10^{-4}$	9	$6.0638\ 10^{-5}$		
Total	0.0011	23			

Tabla 1.6: Análisis de varianza para el diseño BIB

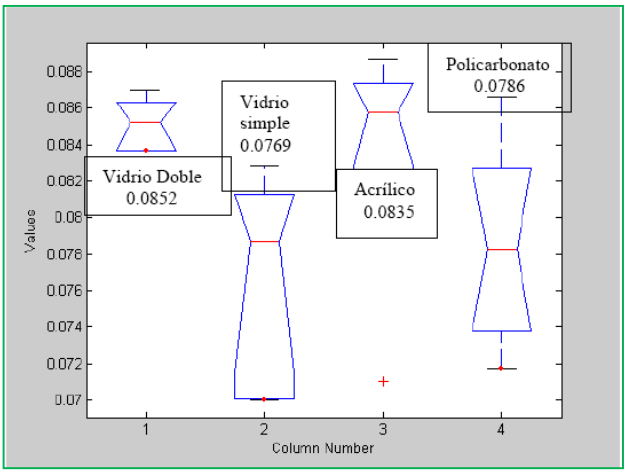


Figura 1.19. Gráfico de caja representando los valores medios del F1 de cada cubierta

5.3 Cocinas Solares construidas en Chile

Este trabajo lo realizaron Rodrigo Antoni Frías Reyes en la Universidad de Chile en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas en el departamento de Ingeniería Mecánica en el año 2003, en este trabajo se contemplan experiencias con cocinas solares con y sin aletas reflectoras. El estudio pretende verificar el comportamiento de las cocinas solares en la localidad del Cajón del Maipo.

Para el diseño de la experiencia construyeron y testearon distintos diseños de cocinas solares tipo horno, las cuales se diferencian principalmente en la inclinación del plano de apertura, las cuales presentan una inclinación de 15º, 20º, 30º con respecto al plano horizontal. En la figura 1.17 se observa la de color amarillo tiene una inclinación de 30º mientras que la verde tiene una inclinación de 20º y la de 15º es una cocina construida de aluminio desmontable y bastante liviana, debido también a que su material aislante es poliuretano expandido diferencia de las otras que usa lana de vidrio.

Figura 1.20: Vista de la cocinas solares

5.3.1 Experiencia 1: Análisis del comportamiento de dos cocinas solares con y sin aletas reflectoras.

La experiencia la realizaron el 1 de febrero del 2003 con excelentes condiciones climáticas. En este caso utilizaron las cocinas de 20º y 30º; esta ultima sin termopapel pero con doble vidrio, la cocina solar de 20º fue utilizada sin aletas reflectoras, de esta manera se ve afectada por la velocidad del viento, que produce perdidas térmicas debido a la convección, conducción y radiación solar, es por ello que tiene menos capacidad de aumentar la temperatura. El ensayo se comenzó a las 11:45, con una radiación sobre los 900[W/m^2] y se prolonga hasta pasado las 22:00 horas de la noche. El área vidriada para las cocinas de 30º es de A: 0.246 m^2, mientras que el área vidriada para la cocina de 20º es de A: 0.197 m^2.

En el cuadro 1.7 se indica los resultados que obtuvieron en los ensayos térmicos comparativos entre cocinas solares con aletas (reflectores) y sin aletas.

Cocina	ºC	T. Ambiente	T. Placa	T. Agua
30º c/aleta	max	32.98	137	97.26
20º c/aleta	max	38	91.6	41.2

Tabla 1.7: Comparación del efecto térmico de las cocinas solares con y sin aletas

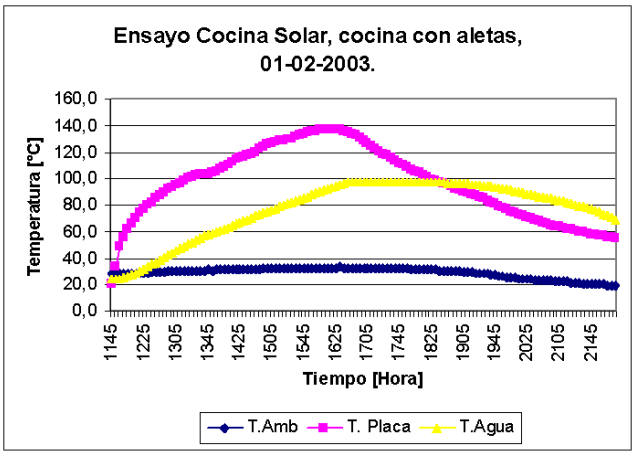


Figura 1.21: Evolución de la temperatura del agua, placa y ambiente para una cocina de 30º de inclinación

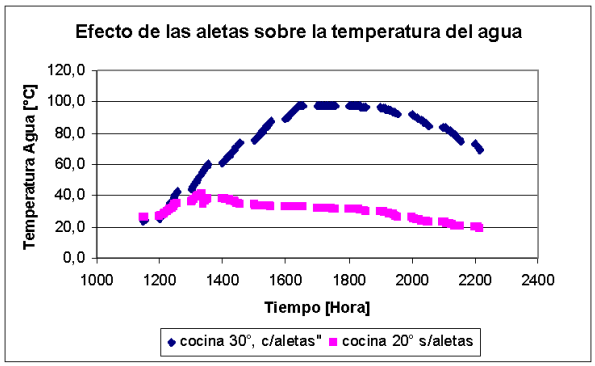


Figura 1.22: Comparación del efecto de las aletas reflectoras en la temperatura del agua en cocinas de 20º y 30º

En la figura 1.20 se evidencia el importante efecto que tienen las aletas reflectoras en el sistema logrando una temperatura bastante más elevada que en el caso sin aletas.

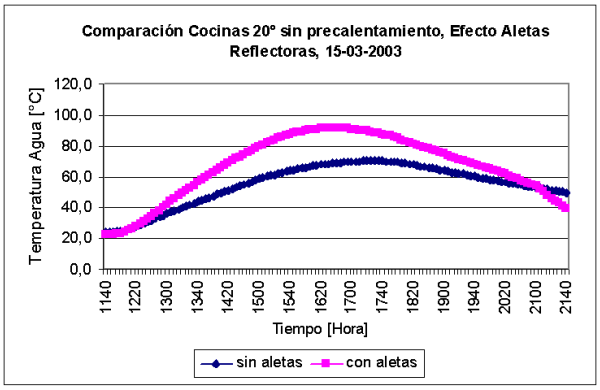


Figura 1.23: Comparación del efecto de las aletas reflectoras en la temperatura en cocinas de 20º

5.3.2 Experiencia 2: Análisis del comportamiento de dos cocinas solares variando el espesor del aislamiento térmico (10cm y 5cm).

La experiencia la realizaron el 29 de junio del 2003. En este día las pruebas de estagnación, con 4 cocinas solares diferentes

- Cocina solar con plano de inclinación de 30º y 10 cm de material aislante, la lana de vidrio, con recudimiento de madera aglomerada pintada de color amarillo.
- Cocina solar con inclinación de 30º y 5 cm de material aislante, lana de vidrio, con recubrimiento de madera aglomerada pintada de color crema.

En la tabla 1.8 se indican los resultados de los factores de merito F_1 que obtuvieron. Es claro que en el cálculo de F_1, la eficiencia óptica debe ser los más alto posible y el coeficiente de perdidas debe ser lo as bajo posible. Lo cual es coherente con los datos que obtuvieron.

COCINA	F1
30º Amarilla y 10cm de aislamiento	0.123
30º crema y 5cm de aislamiento	0.115

Tabla 1.8. Resultados de los factores de Merito 1

Realizaron simulaciones numéricas complementarias de esas cocinas, donde posee en las paredes laterales una aislación de lana de vidrio de 0.05 m y en el fondo 0.1 m de espesor. Para el caso que estudiaron en esta experimentación consideraron una disminución a la mitad en el espesor de las paredes y fondo por parte de las cocinas, para verificar el efecto real que tiene el aislante en la capacidad del agua en adquirir calor por medio de la radiación solar y la mantención por parte de esta. Para estudiar este efecto consideraron la simulación apropiada debido a que se alcanzan las temperaturas de interés por parte del agua que es de 100 ºC y del sistema, es decir, hicieron una simulación a la que se modificaron los espesores mencionados, en la cual lograron notables diferencias respecto a las temperaturas alcanzadas, es decir el aislante térmico juega un rol importante al momento de diseñar una cocina solar tipo horno. Ver figura 1.21

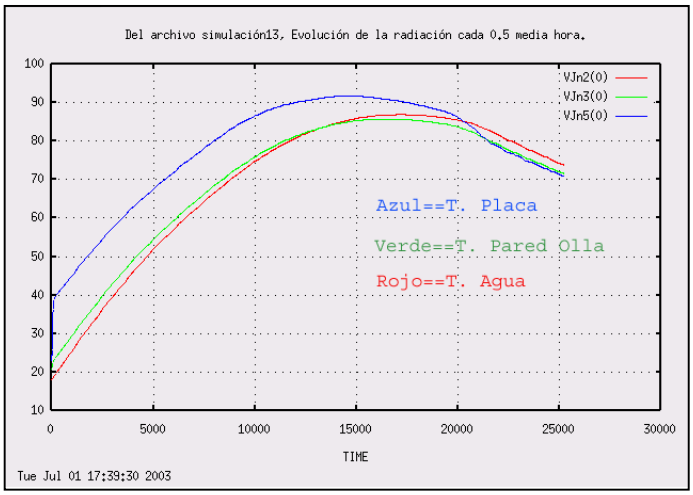


Figura 1.24: Modelación numérica considerando disminución en los espesores de las paredes y fondo de la cocina solar.

De acuerdo a la simulación en la cual tomaron en cuenta los valores de los espesores de las paredes y fondo de la cocina solar, disminuyendo a la mitad estos espesores, pudieron evidenciar que el aislamiento térmico influye directamente en la transferencia de calor por conducción. En la figura1.21 se observa que al disminuir el espesor de las paredes y fondo, la cocina se ve más impedida de acumular calor en los componentes internos de esta, es decir, agua y placa metálica, preferentemente, lo cual era predecible.

5.4 Experiencia en Lima - Perú

Este trabajo lo realizaron en la Universidad Nacional de Ingeniería, en Lima, Perú desde el 11 de enero hasta el 8 de marzo del 2001, (temporada de verano en Lima) , este trabajo se denomino "Evaluación Comparativa De Cocinas Solares, Tipo Caja, De Alturas Diferentes Y Con Ollas Dieferentes" el mismo que fue realizado por Manfred Horn, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima; Jaqueline Espinoza, Universidad Nacional Jorge Basadre, Grohman, Tacna, y Klever Janampa, Universidad Nacional de Huamanga, Ayacucho

El grupo del Perú reportaron el trabajo de la evaluación comparativa de dos cocinas solares, tipo caja, (tipo "Nandwani"), cuya única diferencia era su altura: Mientras que una cocina mantenía prácticamente todas las

dimensiones del modelo "Nandwani", en particular la altura interna de 14 cm, la otra cocina era más alta, con una altura interna de 17 cm, para poder acomodar ollas más altas.

Las cocinas que evaluaron están fabricadas de una caja de madera por fuera, con láminas de aluminio de alta reflectancia (0.4 mm) por el interior y con un aislamiento térmica de lana de vidrio entre medio de ellas de 2.5 cm. La cubierta de doble vidrio no posee ninguna inclinación El reflector exterior es de madera prensado con la misma lámina de aluminio reflejante (0..4 mm).

Descripción de la cocina

Nombre o modelo que lo identifique	alto /grande	Bajo /chica
Tipo de cocina solar	Tipo caja	Tipo caja
Superficie de cubierta de vidrio (m2)	0.772 x 0.420 = 0.324 m2	0.743 X 0.440 = 0.327
Área de reflectores (m2)	0.381	0.349
Altura de la cocina (cm) (INTERIOR)	17	14
Superficie proyectada horizontal (m2)	0.49	0.42
Superficie "interceptada" (m2)	0.544	0.483
Superficie de placa absorbedora (m2)	0.66 x 0.35 = 0.231	0.61 x 0.31 = 0.189
peso (kg)	21	17
Volumen interior (m3) (útil para hornear)	0.0.53	0.034
Número de ollas y volumen (m3)	1 a 4 LITROS	1 a 4 LITROS
Tipo de ollas (fijas o removibles)	REMOVIBLES	REMOVIBLES
Altura dela cocina (cm) (externa)	27	21.3
Las ollas se proveen con la cocina o no	No	No
Calentamiento auxiliar, tipo y potencia.	No	No
Control de potencia	No	No
Almacenamiento de agua integral	No	No

Tabla 1.9 Descripción de las cocinas

Graficas de las cocinas considerando temperatura, tiempo y radiación solar

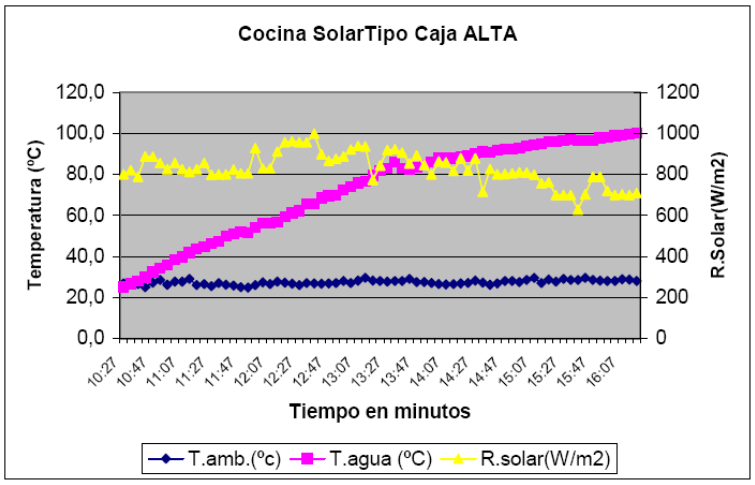


Figura 1.25 Resultados de la cocina solar Alta

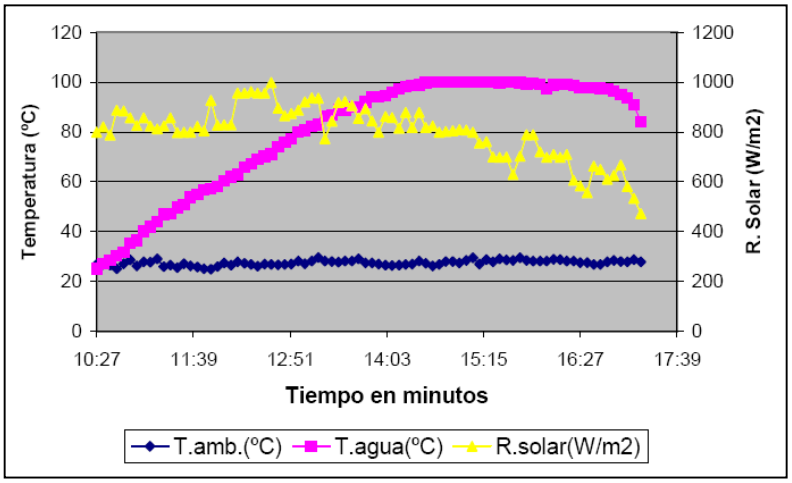


Figura 1.26 Resultados de la cocina solar Baja

Factor de mérito F1:

F1 = 0.059 ± 0.002 m2 °C / W para ambos hornos

Factor de mérito F2:

Considerando los errores experimentales, principalmente debido a las variaciones en la radiación solar durante los diferentes días de evaluación, se concluyó que, aparentemente, el factor F2 de la cocina baja es mayor que el de la cocina alta, y, para condiciones buenas de radiación este valor de F2 se estimó, para ambas cocinas, en el rango 0,20 < F2 < 0,28.

CAPITULO II

2 Materiales Y Métodos

2.1 Diseño teórico de la Investigación

Para el desarrollo de la parte experimental de la investigación, se utilizó cocinas solares tipo caja, sometidas a variaciones en su construcción, a fin de evaluar la influencia de aquellos factores que pudieran tener un efecto significativo en la eficiencia de las cocinas solares.

Teniendo en cuenta que no se dispone de una expresión matemática que haya sido publicada, que permita fijar de antemano los valores de aquellas variables que definan la eficiencia optima de las cocinas, se propuso realizar el tratamiento matemático de las variables involucradas en el proceso que después de un estudio preliminar del tema. Estas son: reflectividad de los materiales de las placas reflectoras **R**, la profundidad de las cocinas **P** y el ángulo de los reflectores **C.** A cada una de las variables se le asignan 3 niveles, a estas se les denominan variables de entrada o independientes, y como variable de salida o dependiente se seleccionó la temperatura del fluido.

Las variables **R**, **P** y **A** fueron escogidas por las siguientes consideraciones:

2.1.1 Reflectividad de los materiales R.

Se trata de una variable cuantitativa, en la cual se estima que el material de los reflectores tiene una influencia considerable en la ganancia de calor en las cocinas solares tipo caja puesto que unos materiales tienen mayor poder de reflexión que otros.

La elección de los materiales se determinó básicamente por el mayor o menor grado de reflexión que poseen estos materiales. Resulta evidente que

mientras mejor sea la capacidad reflectiva de las placas reflectoras, mayor ganancia de calor existirá en el interior de las cocinas solares.

Las características de reflexión de los materiales utilizados se muestran en la tabla 2.1:

MATERIAL	CAPACIDAD REFLECTIVA
Espejo común	90-95%
Papel aluminio	60-75%
Acero inoxidable pulido	70-80%

Tabla 2.1: Reflectividad de los materiales.

Los niveles escogidos de esta variable son:

- Espejo (R1)
- Aluminio (R2)
- Acero inoxidable (R3).

2.1.2 Profundidad P

Se estima que la profundidad tiene una influencia considerable en la ganancia de calor en las cocinas solares tipo caja puesto que las dimensiones de las cocina están relacionadas directamente con el área de acumulación.

La profundidad que representa el nivel superior se determinó por trabajos de investigación realizados desde el año 2005 en la Universidad Nacional de Loja. El nivel inferior se lo seleccionó tomando como referencia las dimensiones de las cocinas Nandwani construidas en Perú.

Los niveles escogidos de esta variable son:

- Profundidad a 30cm (P1).
- Profundidad a 25cm (P2).
- Profundidad a 20cm (P3).

2.1.3 Angulo A

De acuerdo a las leyes de reflexión mencionadas en el capitulo anterior, se consideró que el ángulo es un factor muy influyente en la ganancia de calor en cocinas solares porque este determina el ángulo de rebote de la luz incidente en los reflectores hacia el interior de las cocinas.

Para los niveles del ángulo de inclinación de las placas reflectoras se seleccionó en base a las experiencias realizadas por estudiantes del Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, y por ende no se cuenta con un artículo científico sustentable.

- Angulo de 40 (A1)
- Angulo de 30 (A2)
- Angulo de 25 (A3)

Para la confirmación de la hipótesis científica se escogió un esquema trifactorial de un diseño experimental por bloques al azar con tres réplicas, para los factores reflectividad de los materiales (R), Profundidad (P) y ángulo (A) con tres niveles en cada uno. Este método de planificación estadística de la investigación, establece el numero de ensayos (N), a realizar, en nuestro caso $N = 3^3 = 27$.

En la tabla 2.2, se presentan las combinaciones de los niveles de los factores.

Tratamientos	Reflectividad	Profundidad	Angulo
1	Espejo 92,5 %	30	40
2			30
3			25
4		25	40
5			30
6			25
7		20	40
8			30
9			25
10	Aluminio 67,0 %	30	40
11			30
12			25
13		25	40
14			30
15			25
16		20	40
17			30
18			25
19	Acero inoxidable 75,0%	30	40
20			30
21			25
22		25	40
23			30
24			25
25		20	40
26			30
27			25

Tabla 2.2: Matriz del diseño experimental (Factores y niveles)

En cada uno de los 27 ensayos se realizaron 3 replicas, las mismas que se realizaron en condiciones climáticas similares con la finalidad de obtener datos reproducibles.

Finalmente el total de mediciones a considerar es 27x3=81. En el Capítulo III se reflejará el procesamiento estadístico-matemático de la matriz de resultados que se obtiene.

2.2 Construcción De Cocinas Solares

Para la construcción de las cocinas solares tipo caja primeramente se realizó un estudio de los factores que determinan la eficiencia térmica, a estos factores se los clasifico como variables controlables, variables no controlables, variables independientes, variables dependientes y variables de bloqueo.

Este estudio nos permitió llegar a determinar nuestras variables de bloqueo.

Estas variables de bloqueo son aquellos factores que se considera que intervienen significativamente en el proceso de cocción pero que no se consideraron, como variables de entrada para el desarrollo de la parte experimental de la investigación. Estas variables son:

- Espesor de la cubierta.
- Material de la cubierta. (vidrio)
- Material de la placa absolvedora.
- Material para el aislamiento (lana de vidrio)
- Espesor de aislamiento de las cocinas (5cm)
- Dimensiones de las cocinas (largo 50 cm* ancho 50cm).
- Tiempo de monitoreo.
- Recipiente de cocción.
- Carga del recipiente (Agua)

Es importante mencionar que estas variables de bloqueo influyen directamente en la ganancia de calor por lo cual todas estas variables de bloqueo deben considerarse en todos los ensayos térmicos, para dar cumplimiento a que todas las cocinas deben probarse bajo las mismas condiciones tanto físicas como climáticas.

En el siguiente diagrama de bloques indicamos las variables a las cuales está sometido el proceso de cocción. Figura 2.1

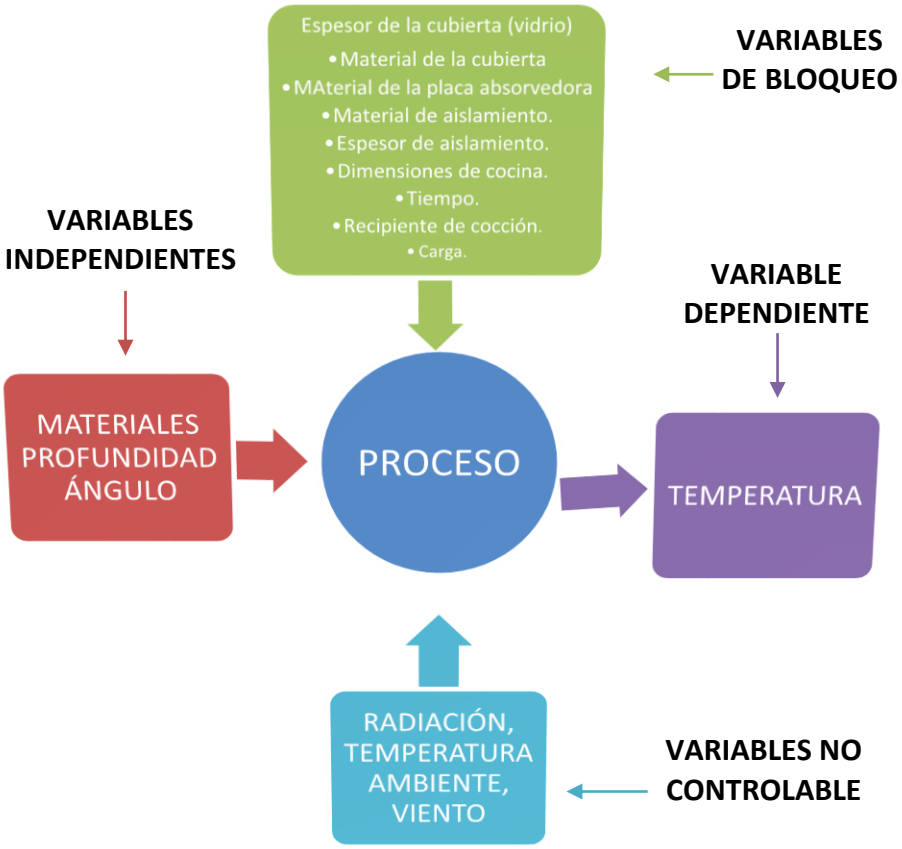


Figura 2.1. Diagrama de Bloques del Proceso

2.2.1 Materiales Constructivos

Para la construcción de las cocinas solares se seleccionó materiales, que cumplan con las características térmicas, reflexivas y resistivas, así como también se considerado los coeficientes de conductividad térmica y que sean de fácil accesibilidad en el mercado. Estos materiales los detallamos a continuación.

2.2.1.1 Materiales para la Caja Exterior e Interior:

Para la caja exterior e interior se utilizó playwood marino de 1.2 cm, se escogió este material por tener un bajo coeficiente de conductividad térmica, es de fácil accesibilidad, bajo coste, y por su composición física tiene buena resistencia a la humedad y permite movilizarla con mucha facilidad. A la caja

exterior se le hizo un tratamiento especial con el fin de mejorar su resistencia a la humedad, para ello se le aplico sellador para madera y laca color caoba.

Para la construcción de la cocina solar tipo caja grande se construyó dos cajas, una interior de 35 x 35 x 30 cm, y otra exterior de 50 x 50 x 40 cm.; para la cocina solar mediana se construyó dos cajas, una interior de 35 x 35 x 25 cm, y otra exterior de 50 x 50 x 35 cm., y para la cocina solar pequeña se construyó dos cajas, una interior de 35 x 35 x 20 cm, y otra exterior de 50 x 50 x 30 cm.

2.2.1.2 Aislante Térmico

Como aislante térmico se utilizó lana de vidrio de 50mm de espesor 80cm de ancho y 180cm de largo. Se escogió este tipo de aislante por tener un bajo coeficiente de conductividad térmica (0.038 W/mºC). Para la construcción de las cocinas solares se consideró una distancia de 5cm entre la caja interior y la caja exterior.

2.2.1.3 Cubierta

Está formada por dos vidrios planos de 3mm de espesor, con una separación entre ellos de 1 cm, se utilizó dos vidrios para mejorar el efecto invernadero. Estos vidrios permiten la penetración de la luz solar, pero también impiden el escape de la radiación infrarroja proveniente de la placa metálica caliente, todo esto con la finalidad de obtener mayor acumulación de calor en el interior de las cocinas.

Para evitar fugas de calor o la entrada de lluvia en la cocina es muy importante sellar los vidrios, interior y exterior, en todo el perímetro de la caja de madera.

2.2.1.4 Placas Reflectoras.

Las dimensiones son de 40x40 cm, se utilizó papel aluminio, espejo y acero inoxidable. Básicamente por las propiedades físicas de estos materiales que tienen mayor capacidad de reflexión que otros materiales existentes en el mercado, por su fácil accesibilidad y bajo coste.

La finalidad de utilizar placas reflectoras es aumentar la radiación solar sobre la placa metálica. Estas placas reflectoras pueden variar su ángulo con respecto a la horizontal para la realización de los distintos ensayos requeridos en el presente trabajo.

2.2.1.5 Placa Absorbedora

Consiste en una plancha de latón de 35x35 cm de 0.4 mm de espesor, doblada 1cm en sus cuatro lados, esto se hizo con la finalidad que la placa quede levantada del fondo de la cocina en caso que haya derramamiento de liquido dañando la cocina, y para disminuir las pérdidas de calor por conducción en el interior de la misma.

Esta placa fue pintada de negro mate por ambos lados para mejorar la captación de la energía solar incidente. El latón se lo seleccionó por tener un buen coeficiente de conductividad térmico (0.13W/m.k), por su fácil accesibilidad en el mercado y por su bajo coste de adquisición.

2.3 Descripción Física De Las Cocinas Solares Tipo Caja

La descripción física de las tres cocinas solares tipo caja se lo muestra en la siguiente tabla 2.3.

DESCRIPCION DE LA COCINA			
Nombre o modelo que lo identifique	GRANDE 30 cm	MEDIANA 25 cm	PEQUEÑA 20 cm
Tipo de cocina solar	Tipo Caja	Tipo Caja	Tipo Caja
Superficie de cubierta de vidrio (m^2)	0.16	0.16	0.16
Área de los reflectores aluminio, vidrio, acero (m^2)	0.16	0.16	0.16
Superficie de placa absorbedora (m^2)	0.123	0.123	0.123
Volumen interior (m^3)	0.043	0.037	0.031
Numero de ollas y volumen	1 a 1 lit.	1 a 1 lit.	1 a 1 lit.
Tipo de ollas: fijas o removibles	Removibles	Removibles	Removibles
Altura exterior de la cocina (m)	0.45	0.40	0.35
Altura interior de la cocina (m)	0.30	0.25	0.20
Material de placas reflectoras	Espejo Aluminio Acero inox.	Espejo Aluminio Acero inox.	Espejo Aluminio Acero inox.
Grados de inclinación de las placas reflectoras	40º 30º 25º	40º 30º 25º	40º 30º 25º
Material de aislamiento	Lana de vidrio	Lana de vidrio	Lana de vidrio

Tabla 2.3: Descripción físicas de las cocinas ensayadas

2.4 Instrumentos De Medición

Para la recolección de los datos en los distintos ensayos realizados para nuestro experimento se seleccionó los siguientes instrumentos de medición, teniendo en consideración, que son de fácil manipulación, su bajo coste y sobre todo porque nos brindan medidas reales y confiables:

2.4.1 Piranómetro

Los piranómetros sirven para medir la radiación global, directa y difusa, que se recibe en todas direcciones, por lo que el instrumento tiene que descansar sobre una base horizontal.

Para la realización de nuestro trabajo se utilizó un piranómetro de la marca Daystar. (Figura 2.2). Este piranómetro nos proporciona una lectura exacta de radiación de 0 - 1200 Watts/m2 cuando se lo señala directamente hacia el sol. La resolución es de 1 Watts/m2. Utiliza una célula de silicio policristalino como sensor. La célula está montada en el extremo superior, perpendicular a la pantalla. El sensor responde a un ancho de banda de spectum aproximadamente 0.3-1.1 micras. El piranómetro está diseñado para mediciones al aire libre de la luz solar. El sensor se encuentra detrás de un difusor de plástico.

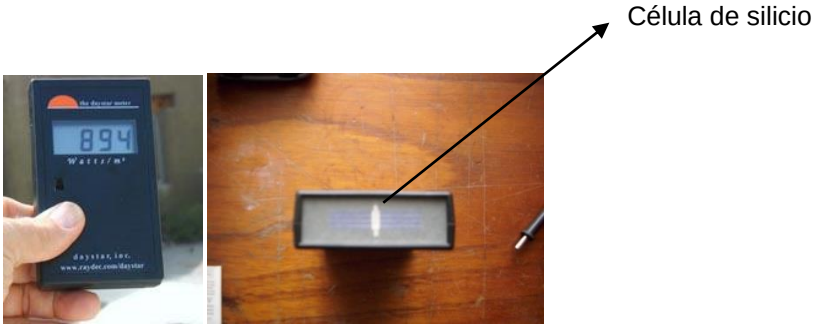


Figura 2.2: Piranómetro Daystar

2.4.2 Termocuplas

Las termocuplas tipo K son los sensores de temperatura de uso industrial más comunes, económicos y fáciles de reemplazar que existen (Figura 2.3).

Estas termocuplas están compuestas por dos alambres de distinto material unidos en un extremo, cubren un rango de temperatura entre -180 a 1370 ºC. Las termocuplas se utilizaron para medir las temperaturas en la placa absorbedora, vidrios interior y exterior, cámara interior de la cocina y el fluido.

Figura 2.3. Termocupla tipo K

2.4.3 Termómetro.

Se utilizó un termómetro de mercurio, para medir la temperatura ambiente. Se escogió este tipo de termómetro ya que este tipo de termómetro cuenta con un bulbo reflejante y generalmente de color blanco brillante, con lo que se evita la absorción de la radiación del ambiente. Es decir, este termómetro toma la temperatura real del aire sin que la medición de ésta se vea afectada por cualquier objeto del entorno que irradie calor. Figura 2.4

Figura 2.4: Termómetro

2.4.4 Multímetros.

Se utilizó un multìmetro digital de la marca MAS 838, por ser de bajo coste, de fácil manipulación y nos permite visualizar los datos de temperatura medidos por las termocuplas Tipo K. Como se muestra en la figura 2.5

Figura. 2.5 Multímetro

2.5 Procedimiento general para los ensayos térmicos.

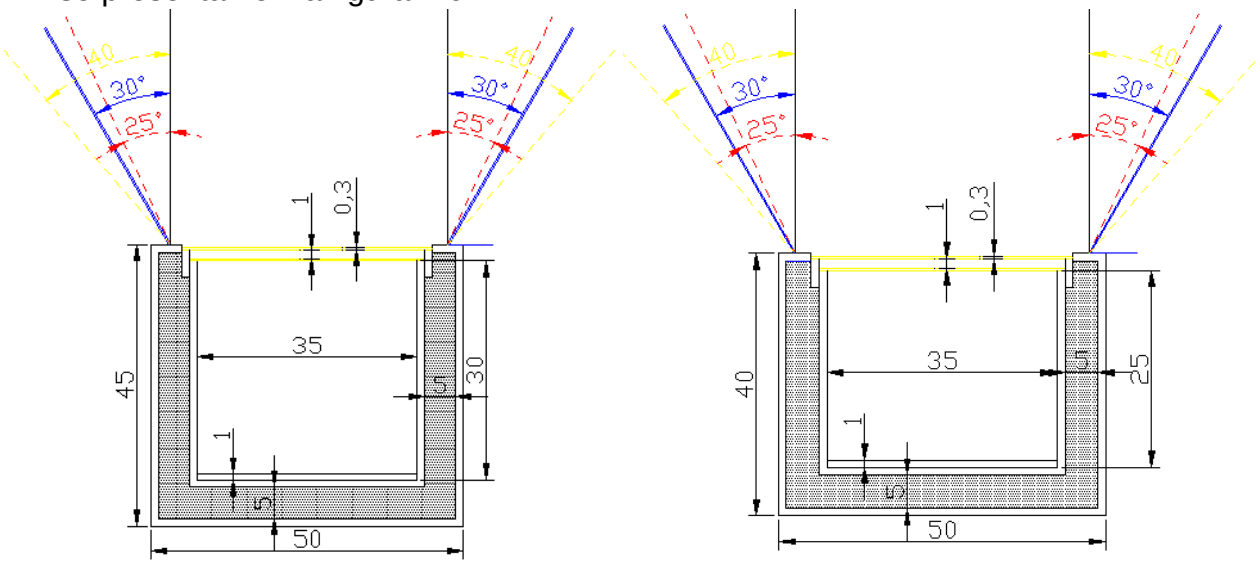
2.5.1 Descripción del sistema físico ensayado

El sistema físico ensayado está constituido por tres cocinas solares tipo caja. Las mismas están construidas teniendo en consideración las variables de bloqueo antes mencionadas, es decir las tres cocinas tienen las mismas

características constructivas cuya única diferencia radica en su altura. A estas cocinas se les adaptó un sistema mediante el cual es posible cambiar las placas reflectoras para los distintos materiales ensayados.

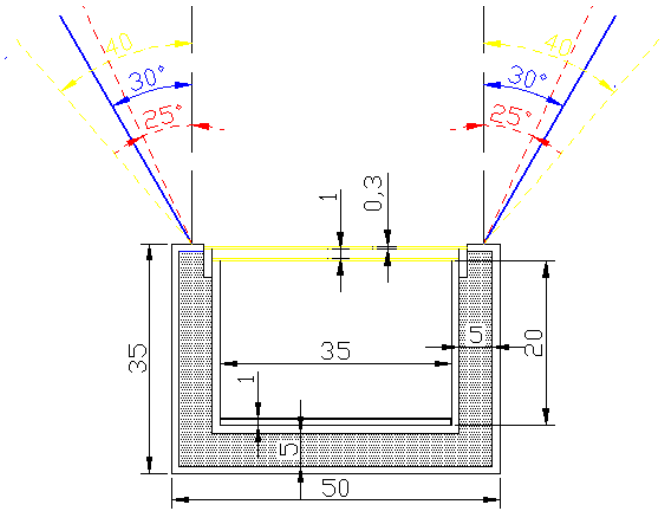
En la parte posterior de estas placas reflectoras se adaptó un mecanismo mediante el cual se nos facilita variar el ángulo de reflexión, para dar cumplimiento a los diferentes niveles propuestos en esta variable de entrada.

La geometría y dimensiones de las tres cocinas solares tipo caja construidas se presentan en la figura 2.6.



Cocina solar Grande

Cocina solar Mediana



Cocina solar Pequeña

Figura 2.6. Esquema Geometría y Dimensiones de las Cocinas

2.5.2 Ensayos Térmicos

Para la realización de los ensayos térmicos se tomó como referencia las normas **ASAES580.** Los ensayos térmicos se los realizo desde el mes de junio hasta el mes de octubre. Tiempo el cual está comprendido entre el solsticio de Junio o también denominado solsticio de verano en el cual los rayos solares tienen su máxima inclinación, esta inclinación es de 23.27º con respecto al norte y el equinoccio de septiembre o también conocido como equinoccio de otoño, en este punto sol incide perpendicularmente en el Ecuador.

Los ensayos se probaron bajo las mismas condiciones físicas y climáticas. A continuación se detalla el procedimiento para los 81 ensayos.

Los ensayos térmicos se los realizó con 1 litro de agua. Justificando el uso del agua para testear las cocinas solares tipo caja puesto que estas son principalmente utilizadas para calentar agua y preparar comidas sencillas, y sobre todo a que los alimentos poseen una gran fracción de su masa en agua.

- Todos los ensayos térmicos los realizó entre las 10 y las 14 horas solares. La razón es que el ángulo cenital es prácticamente constante cerca del mediodía y por ende durante todo ensayo.
- Se tomó la temperatura ambiente para el momento que se realizó los ensayos. Para ello se utilizó un termómetro de mercurio. Estas medidas fueron tomadas bajo sombra es decir no se expuso en termómetro directamente al sol.
- La radiación solar fue medida en un plano perpendicular a la radiación directa para obtener la máxima lectura de medición. Esta medición se la realizó con la ayuda de un piranómetro de la marca DayStar. Se tubo en cuenta que las variaciones en la radiación solar superiores a 100 [W/m2] durante un intervalo de 10 minutos, o cando las medidas estaban por debajo de los 450 [W/m2] o sobre los 1100 [W/m2] durante

el ensayo el test de medición se invalida. La razón de esto es que se desea mantener moderadas las fluctuaciones de los niveles de radiación, reduciendo de esta forma la variabilidad causada por los efectos de inercia.

- Los ensayos se los realizó sin orientación hacia la posición del sol.
- Los ensayos se los realizó en días soleados con nublados mínimos a fin de obtener resultados reproducibles.
- Para la toma de temperaturas utilizamos termocuplas tipo K, Se tomó datos de temperaturas para las placas absorbedoras, cámara interior de las cocinas, del fluido, del vidrio interior (Tv2) y para el vidrio exterior (Tv1).
- Los datos tanto de radiación como de temperaturas se tomaron cada 10 minutos, dando cumplimiento a lo expresado en las normas ASAE S580.

En la tabla 2.4, se detalla la forma en que fueron receptados los datos.

HORA	T. AMB	RAD	LIQ.	PLACA	V1	V2	CAM
10h00	30	1015	19	29	29	29	31
10h10	30	1020	23	33	28	31	34
10h20	30	1032	27	37	30	33	37
10h30	30	1030	29	41	28	33	37
10h40	30	1040	31	45	29	34	38
10h50	31	1045	35	52	31	36	43
11h00	31	1039	39	64	32	37	46
11h10	31	1030	42	62	33	38	50
11h20	30	1020	44	75	35	40	55
11h30	31	1010	50	86	33	45	60
11h40	30	1040	53	95	33	44	65
11h50	30	1038	58	101	33	47	70
12h00	31	1042	62	112	33	48	76
12h10	31	1033	67	116	30	52	82
12h20	31	1050	70	110	33	60	88
12h30	30	1020	81	109	35	65	95
12h40	30	1045	85	113	33	72	95
12h50	31	1029	88	118	36	81	98
13h00	30	1055	92	122	33	85	99

13h10	30	1033	95	116	30	86	102
13h20	30	1028	95	110	30	86	103
13h30	31	1039	97	108	30	90	103
13h40	31	1022	96	107	33	93	102
13h50	31	1010	95	105	33	95	100
14h00	31	1024	95	103	30	98	102

Tabla 2.4. Cuadro de Datos de Monitoreo

2.6 Objetivos de la Modelación Matemática.

Para realizar una modelación matemática de debe dar cumplimiento a los siguientes objetivos.

2.6.1 Metodología para el Primer Objetivo

Analizar la existencia de posibles relaciones funcionales entre las variables independientes: Reflectividad del material, Profundidad y Angulo y algunas de sus combinaciones con la variable dependiente Temperatura. Así mismo, es necesario probar que las repeticiones no influyen en los resultados de las mediciones de las temperaturas para cada combinación de valores de las variables independientes.

Para el cumplimiento de este objetivo recurrimos al diseño de experimentos. Teniendo en consideración los principios básicos para la elección del tipo de diseño experimental, los cuales son: Aleatorización, replicación, orden u otras restricciones y determinar si se hace bloqueo, teniendo en consideración lo expuesto anteriormente recurrimos al diseño Tri-Factorial Por bloques al azar.

Se escogió este tipo de diseño experimental, porque muestro trabajo presenta una variable cuantitativa, la cual está representada por el tipo de material de las placas reflectoras, y por tener tres variables de entrada cada una a tres niveles respectivamente.

2.6.1.1 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño trifactorial por bloques al azar donde intervienen tres factores A, B y C a tres niveles respectivamente en la cual se mide la variable de salida Temperatura.

Se quieren analizar las influencias de A, B, C, y las interacciones AB, AC, BC y ABC en el comportamiento de Y. Para ello se define que en general cada valor Y_{ijkl} se descompone en función de los efectos α_i, β_j y_k de los factores A, B, C de su interacción $(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$, $(\beta\gamma)_{jk}$, $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$, ρ_l. De las repeticiones que se efectúan y de otros factores aleatorios ε_{ijkl} que se distribuyen normalmente con media 0 y desviación estándar σ^2.

El modelo que se estudia es:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + y_k + (\alpha\beta)_{ij} + (ay)_{ik} + (\beta y)_{jk} + (\alpha\beta y)_{ijk} + \rho_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} Medición de la temperatura obtenida en el i-ésimo nivel de reflectividad, j-ésimo nivel de profundidad, k-ésimo nivel de ángulo e l-ésima repetición.

μ Media general del experimento.

α_i Efecto de la reflectividad del material.

β_j Efecto de la profundidad.

y_k Efecto del ángulo.

$(\alpha\beta)_{ij}$ Interacción que existe entre el material y la profundidad.

$(ay)_{ik}$ Interacción que existe entre el material y el ángulo.

$(\beta y)_{jk}$ Interacción que existe entre la profundidad y el ángulo.

$(\alpha\beta y)_{ijk}$ Es la interacción que existe entre el material, la profundidad y el ángulo.

ρ_l Efecto de las repeticiones.

ε_{ijkl} Error experimental.

Para la realización de un diseño experimental se deben plantear hipótesis preliminares, estas hipótesis están definidas por H_0= hipótesis nulas; H_1= Hipótesis alternativas

2.6.1.2 Hipótesis

El rechazo o la aceptación de las hipótesis que se plantean a continuación se las realizara mediante el test de FISHER. Para lo cual se considera un valor de α=0,05 (nivel de significancia), representado en la figura 2.7. El cual es un valor aceptable para poder llegar a rechazar o aceptar las hipótesis planteadas.

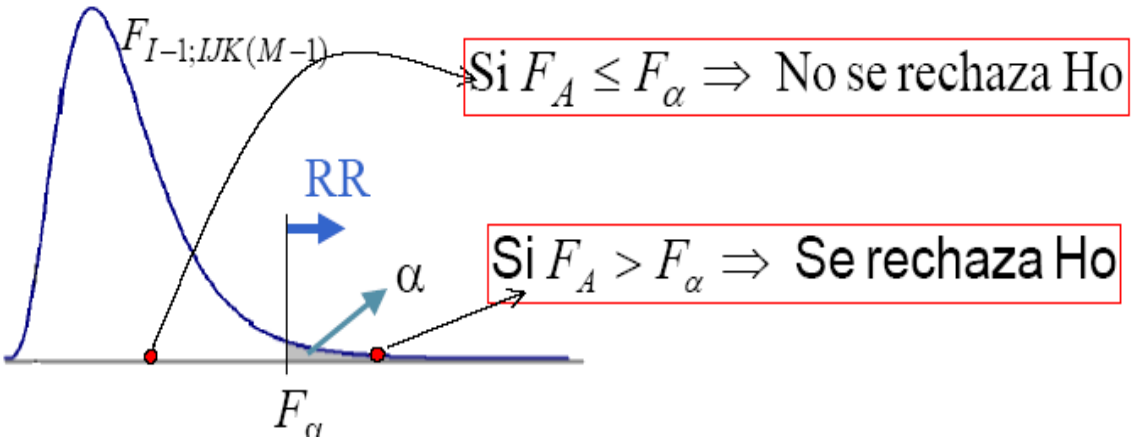


Figura 2.7 Nivel de significancia.

- **Para réplicas o bloques:**

H_0: El efecto de las réplicas no difiere estadísticamente al 5%.
H_1: Al menos dos réplicas difieren estadísticamente al 5%.

- **Para el factor R (Material):**

H_0: El efecto de los materiales no difiere estadísticamente al 5%.
H_1: Al menos dos materiales difieren estadísticamente al 5%.

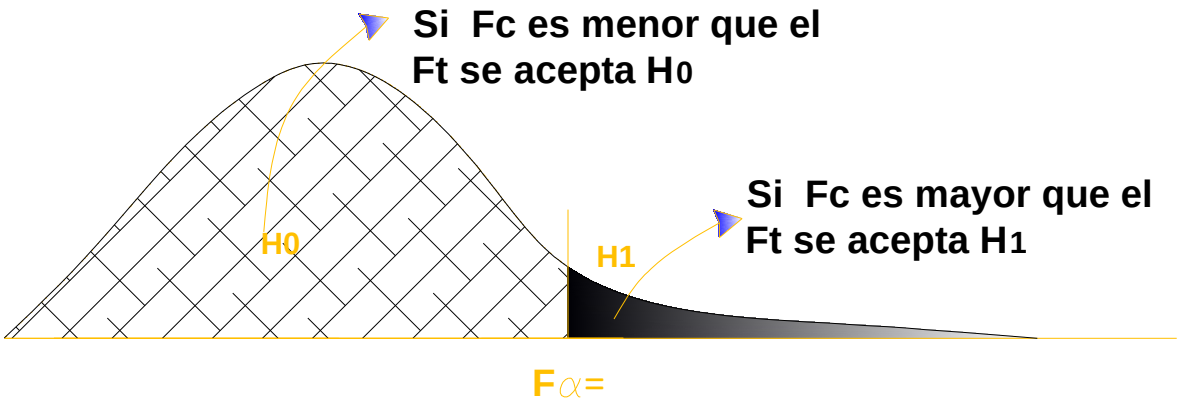


Figura 2.8 Rechazo o aceptación de la hipótesis

- **Para el factor P (Profundidad):**

H_0: El efecto de las profundidades empleadas no difieren estadísticamente al 5%.

H_1: Al menos dos de las profundidades empleadas difieren estadísticamente al 5%.

- **Para el factor A (Angulo):**

H_0: El efecto de los ángulos tomados para los reflectores no difieren estadísticamente al 5%.

H_1: Al menos dos de los ángulos tomados para los reflectores difieren estadísticamente al 5%.

- **Para la interacción entre el factor R (Materiales) y el factor P (Profundidad):**

H_0: El efecto de las interacciones RP no difieren estadísticamente al 5%.

H_1: Al menos el efecto de dos interacciones RP difieren estadísticamente al 5%.

- **Para la interacción entre el factor R (Material) y el factor A (Angulo):**

H_0: El efecto de las interacciones RA no difieren estadísticamente al 5%.

H_1: Al menos el efecto de dos interacciones RA difieren estadísticamente al 5%.

- **Para la interacción entre el factor P (Profundidad) y el factor A (ángulo):**

H_0: El efecto de las interacciones PA no difieren estadísticamente al 5%.

H_1: Al menos el efecto de dos interacciones PA difieren estadísticamente al 5%.

- **Para la interacción entre el factor R (Material), el factor P (Profundidad) y el factor A (ángulo):**

H_0: El efecto de las interacciones RPA no difieren estadísticamente al 5%.

H_1: Al menos el efecto de dos interacciones RPA difieren estadísticamente al 5%.

2.6.1.3 Análisis De Varianza ANOVA

El análisis de varianza se describe en la tabla 2.5.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	F
Repeticiones	r-1	Sr	$MSr=\frac{Sr}{r-1}$	$F_1=\frac{MSr}{MSE}$
R	a-1	SR	$MSR=\frac{SR}{a-1}$	$F_2=\frac{MSR}{MSE}$
P	b-1	SP	$MSP=\frac{SP}{b-1}$	$F_3=\frac{MSP}{MSE}$

A	c-1	SA	MSA= $\frac{SA}{c-1}$	**F_4=** $\frac{MSA}{MSE}$
RP	(a-1)(b-1)	SRP	MSRP= $\frac{SRP}{(a-1)(b-1)}$	**F_5=** $\frac{MSRP}{MSE}$
PA	(b-1)(c-1)	SPA	MSPA= $\frac{SPA}{(b-1)(c-1)}$	**F_6=** $\frac{MSPA}{MSE}$
RA	(a-1)(c-1)	SRA	MSRA= $\frac{SRA}{(a-1)(c-1)}$	**F_7=** $\frac{MSRA}{MSE}$
RPA	(a-1)(b-1)(c-1)	SRPA	MSRPA= $\frac{SRPA}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	**F_8=** $\frac{MSRPA}{MSE}$
Error	(abc-1)(r-1)	SE	MSE= $\frac{SE}{(abc-1)(r-1)}$	
Total	**N=abcr**	**ST**		

Tabla 2.5. Análisis de Varianza

2.6.2 Metodología para el Segundo Objetivo

Obtener un modelo mínimo cuadrado que exprese explícitamente la relación de las variables independientes y algunas de sus combinaciones con respecto a la variable dependiente.

Para ello se debe desarrollar el siguiente procedimiento.

Sean los n puntos P_1, P_2, …, P_n pertenecientes al espacio vectorial R^m. Cada punto P_i (i=1,2, …,n) tiene las coordenadas (x_{1i}, x_{2i}, …, x_{mi}) y puede suceder que dos o más de estos puntos sean iguales. Para cada punto P_i se conocen valores $Y_i \in R$ y por tanto se tiene la siguiente tabla de datos: Tabla 2.6

I	**1**	**2**	**3**	**4**	**…**	**n**
P_i	P_1	P_2	P_3	P_4	…	P_n
Y_i	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	…	Y_n

Tabla 2.6: Datos Pi y Yi

Se trata de encontrar un modelo funcional lineal que esté cercano a todos los puntos" (P_i, Y_i). El modelo que se busca tiene la forma general:

$$Y = a_0 F_o(P) + a_1 F_1(P) + a_2 F_2(P) + a_3 F_3(P) + \ldots\ldots + a_k F_k(P)$$

Donde:

P = (x_1, x_2,…, x_m)

a_o, a_1, …, a_k son k+1 coeficientes que deben determinarse.

$F_1(P)$, $F_2(P)$, …, $F_k(P)$ son funciones definidas desde un subconjunto de R^m hasta un subconjunto de R.

El criterio que se seguirá para encontrar a los coeficientes **a_o, a_1,…, a_k** es minimizar la expresión de la llamada Varianza Residual:

$$VR = \sum_{i=1}^{n} \left(a_o F_o(P_i) + a_1 F_1(P_i) + a_2 F_2(P_i) + \ldots + a_k F_k(P_i) - Y_i \right)^2$$

(1)

Y si se considera que

$Y_i^* = a_o F_o(P_i) + a_1 F_1(P_i) + a_2 F_2(P_i) + \ldots + a_k F_k(P_i)$, entonces, se quiere minimizar $VR = \sum_{i=1}^{n} \left(Y_i^* - Y_i \right)^2$

Lo cual quiere decir que se trata de encontrar un conjunto de valores **a_o, a_1,…, a_k** tal que sea mínima la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores estimados Y_i^* y los valores conocidos Y_i.

Para encontrar los valores óptimos de **a_o, a_1,…, a_k** se aplicará una técnica clásica de los métodos de optimización dada por los siguientes pasos:

1. Derivar la expresión (1) con respecto a cada una de los parámetros **a_o, a_1,…, a_k**. Se obtiene

$$\frac{\partial U}{\partial a_o} = 2\sum_{i=1}^{n} \left(a_o F_o(P_i) + a_1 F_1(P_i) + a_2 F_2(P_i) + \ldots + a_k F_k(P_i) - Y_i \right) F_o(P_i)$$

$$\frac{\partial U}{\partial a_1} = 2\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{a}_{\mathrm{o}}F_{\mathrm{o}}(P_i) + a_1F_1(P_i) + a_2F_2(P_i) + \ldots + a_kF_k(P_i) - Y_i\right)F_1(P_i)$$

$$\frac{\partial U}{\partial a_2} = 2\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{a}_{\mathrm{o}}F_{\mathrm{o}}(P_i) + a_1F_1(P_i) + a_2F_2(P_i) + \ldots + a_kF_k(P_i) - Y_i\right)F_2(P_i)$$

$$\frac{\partial U}{\partial a_k} = 2\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{a}_{\mathrm{o}}F_{\mathrm{o}}(P_i) + a_1F_1(P_i) + a_2F_2(P_i) + \ldots + a_kF_k(P_i) - Y_i\right)F_k(P_i)$$

2. Igualando a 0 cada una de las derivadas anteriores:

$$2\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{a}_{\mathrm{o}}F_{\mathrm{o}}(P_i) + a_1F_1(P_i) + a_2F_2(P_i) + \ldots + a_kF_k(P_i) - Y_i\right)F_{\mathrm{o}}(P_i) = 0$$

$$2\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{a}_{\mathrm{o}}F_{\mathrm{o}}(P_i) + a_1F_1(P_i) + a_2F_2(P_i) + \ldots + a_kF_k(P_i) - Y_i\right)F_1(P_i) = 0$$

$$2\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{a}_{\mathrm{o}}F_{\mathrm{o}}(P_i) + a_1F_1(P_i) + a_2F_2(P_i) + \ldots + a_kF_k(P_i) - Y_i\right)F_2(P_i) = 0$$

$$2\sum_{i=1}^{n}\left(\mathrm{a}_{\mathrm{o}}F_{\mathrm{o}}(P_i) + a_1F_1(P_i) + a_2F_2(P_i) + \ldots + a_kF_k(P_i) - Y_i\right)F_k(P_i) = 0$$

3. Asumiendo la notación $F_0(P) = 1$, entonces el sistema de ecuaciones que se puede escribir:

$$\left[\sum_{i=1}^{n}F_o(P_i)F_o(P_i)\right]a_o + \left[\sum_{i=1}^{n}F_1(P_i)F_0(P_i)\right]a_1 + \ldots + \left[\sum_{i=1}^{n}F_k(P_i)F_0(P_i)\right]a_k = \left[\sum_{i=1}^{n}Y_iF_0(P_i)\right]$$

$$\left[\sum_{i=1}^{n}F_0(P_i)F_1(P_i)\right]a_o + \left[\sum_{i=1}^{n}F_1(P_i)F_1(P_i)\right]a_1 + \ldots + \left[\sum_{i=1}^{n}F_k(P_i)F_1(P_i)\right]a_k = \left[\sum_{i=1}^{n}Y_iF_1(P_i)\right]$$

$$\left[\sum_{i=1}^{n}F_0(P_i)F_2(P_i)\right]a_o + \left[\sum_{i=1}^{n}F_1(P_i)F_2(P_i)\right]a_1 + \ldots + \left[\sum_{i=1}^{n}F_k(P_i)F_2(P_i)\right]a_k = \left[\sum_{i=1}^{n}Y_iF_2(P_i)\right]$$

$$\ldots$$

$$\left[\sum_{i=1}^{n}F_0(P_i)F_k(P_i)\right]a_o + \left[\sum_{i=1}^{n}F_1(P_i)F_k(P_i)\right]a_1 + \ldots + \left[\sum_{i=1}^{n}F_k(P_i)F_k(P_i)\right]a_k = \left[\sum_{i=1}^{n}Y_iF_k(P_i)\right]$$

Que en notación matricial puede escribirse como **[MS] (A)= (I)** donde:

$$\textbf{[MS]} = \begin{bmatrix} [\sum_{i=1}^{n} F_0(P_i)F_0(P_i)] & \dots & [\sum_{i=1}^{n} F_k(P_i)F_0(P_i)] \\ [\sum_{i=1}^{n} F_0(P_i)F_1(P_i)] & \dots & [\sum_{i=1}^{n} F_k(P_i)F_1(P_i)] \\ [\sum_{i=1}^{n} F_0(P_i)F_2(P_i)] & \dots & [\sum_{i=1}^{n} F_k(P_i)F_2(P_i)] \\ \dots & \dots & \dots \\ [\sum_{i=1}^{n} F_0(P_i)F_k(P_i)] & \dots & [\sum_{i=1}^{n} F_k(P_i)F_k(P_i)] \end{bmatrix}$$

$$\textbf{(A)} = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_k \end{pmatrix} \qquad \textbf{(I)} = \begin{pmatrix} [\sum_{i=1}^{n} F_0(P_i)Y_i] \\ [\sum_{i=1}^{n} F_1(P_i)Y_i] \\ \dots \\ [\sum_{i=1}^{n} F_k(P_i)Y_i] \end{pmatrix}$$

Es importante destacar que k debe ser siempre menor o igual que n. Por otra parte es necesario aclarar que en la medida que aumenta k el sistema será más difícil de manejar por su tamaño y porque puede convertirse en un sistema mal condicionado (pequeñas variaciones de los datos pueden ocasionar grandes variaciones en los resultados de $\mathbf{a_o, a_1, \dots, a_k}$).

Los dos indicadores más conocidos para determinar la calidad de este modelo son:

1. El valor de $VR = \sum_{i=1}^{n} \left(Y_i^* - Y_i\right)^2$, o sea, para los valores determinados de $\mathbf{a_o, a_1, \dots, a_k}$, calcular el valor de de las sumas de las diferencias.

2. El coeficiente de correlación denominado $r = \dfrac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^* - Y_M\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - Y_M\right)^2}$, donde

   $Y_M = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} Y_i}{n}$ es la media aritmética de la variable dependiente Y. Al numerador $VE = \sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^* - Y_M\right)^2$ se le llama Variación Explicada y al denominador $VT = \sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - Y_M\right)^2$ se le llama Variación Total.

   Este coeficiente de correlación r tiene su valor entre 0 (peor ajuste) y 1 (mejor ajuste).

También es importante conocer:

- Error Estándar de una Estimación, $EEE = \sqrt{\dfrac{VE}{n-k-1}}$
- Error probable de una observación $EPO = 0{,}6745\sqrt{\dfrac{VE}{n-k}}$

Pueden determinarse los coeficientes de correlación parcial **r_1, r_2, …, r_k** correspondientes a cada componente del modelo $F_1(P)$, $F_2(P)$, …, $F_k(P)$ y realizarse diversas pruebas de inferencia estadísticas para argumentar la validez del modelo.

En el caso que nos ocupa, mediante la implementación del Método de los Mínimos Cuadrados en el software Tierra en el cual están inmersos todos los algoritmos expuestos anteriormente, se obtuvieron los modelos matemáticos que se indican en el capítulo III

2.6.3 Metodología Tercer Objetivo

Encontrar bajo qué condiciones se obtienen los valores extremos máximo y mínimos de la variable temperatura.

En este caso se utilizó un método clásico que se puede implementar en una herramienta de Matemáticas para PC en el software Tierra

1. Sea la función $T = a + bR + cP + dA + eRP + fRA + gPA + hRPA$

2. Se obtienen sus primeras derivadas respecto a R, P y A y estas se igualan a 0.

$$P(hA + e) + fA + b = 0$$

$$R(hA + e) + gA + c = 0$$

$$hRP + fR + gP + d = 0$$

3. Despejando P en la primera y en la tercera expresión se tiene:

$$P = -\frac{fA + b}{hA + e}$$

$$P = -\frac{fR + d}{hR + g}$$

4. Igualando las expresiones anteriores y despejando R se obtiene:

$$R = \frac{A(dh - fg) - bg + de}{bh - ef}$$

5. Sustituyendo el resultado del paso 4 en la segunda ecuación del paso 2, se obtiene:

$$\frac{(hA + e)[A(dh - fg) - bg + de]}{bh - ef} + gA + c = 0$$

6. Y resolviendo esta expresión de segundo grado se obtienen (si existen) los valores de A:

$$A_1 = \frac{\sqrt{(bh - ef)}\sqrt{(ch - eg)}\sqrt{(fg - dh) - e(dh - fg)}}{h(dh - fg)}$$

$$A_2 = \frac{\sqrt{(bh - ef)}\sqrt{(ch - eg)}\sqrt{(fg - dh) + e(dh - fg)}}{h(fg - dh)}$$

7. Sustituyendo los valores de A_1 y A_2 en la expresión del paso 4 se obtienen los correspondientes valores de R_1 y R_2.
8. Sustituyendo los valores de A_1 y A_2 en la primera expresión del paso 3, se obtienen los correspondientes valores de P_1 y P_2. Ahora se pueden escribir como posibles extremos locales los puntos (R_1,P_1,A_1) y (R_2,P_2,A_2).

Mediante estos algoritmos se llega a determinar los puntos máximos y mínimos si como los puntos de inflexión. Estos algoritmos se encuentran inmersos en software antes mencionado.

2.7 Eficiencia Térmica de la cocina

Para el cálculo de la eficiencia térmica de cocinas solares tipo caja se debe considerar la temperatura ambiente del lugar donde se realizaron los ensayos térmicos, así como la temperatura que alcance el fluido, teniendo en consideración que se debe tomar 5°C por encima de la temperatura ambiente, y 5°C por debajo de la temperatura de ebullición del agua.

Todos los ensayos térmicos se los realizo en el cantón Catamayo el cual se encuentra a1270 metros sobre el nivel del mar, por ende se debe tomar la temperatura de ebullición del lugar la cual es de 95 °C.

Calculo de la energía de salida. El incremento de temperatura del agua debe ser multiplicado por la masa en kilogramos y calor especifico del agua 4186 [J/kg_C] contenida en el recipiente, dividiendo este producto por el intervalo de tiempo que tarda en llegar el agua desde 5°C por encima de la temperatura ambiente hasta 5°C por debajo de su temperatura de ebullición para obtener la potencia en Watts.

$$Es = \frac{m\ x\ Cp\ x\ \Delta T}{t} \qquad (2.1)$$

Calculo de la masa, *m*. Para el cálculo de la masa se multiplica la densidad del agua por el volumen de agua contenido en el recipiente de cocción.

$$m = \rho x\, V \qquad (2.2)$$

Calculo del incremento de temperatura ΔT. Está definida por la diferencia de temperaturas entre la temperatura de ebullición del fluido y la temperatura ambiente.

$$\Delta T = Tf - Ti \qquad (2.3)$$

Energía de Entrada (Ee). Es el producto entre la insolación y el area de captación de la cocina solar tipo caja.

$$Ee = I\ x\ A \qquad (2.4)$$

Calculo de la eficiencia n. Está determinada por el cociente entre la potencia de cocción y la potencia de entrada.

$$n = \frac{E\ salida}{E\ entrada} \qquad (2.5)$$

Eficiencia Térmica Total n_T. Esta dada por la suma de todas las eficiencias calculadas dividida para el número de eficiencias calculadas.

$$n_T = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3} \qquad (2.6)$$

CAPITULO III

3 Resultados Y Discusión

Factores, Niveles y Diseño Experimental

Se realizó un diseño trifactorial por bloques al azar para estudiar la influencia de: tres materiales de distinta reflectividad (R1, R2, R3), tres profundidades distintas (P1, P2, P3), y tres ángulos distintos (A1, A2, A3), en el proceso de cocción de una cocina solar tipo caja.

Para efecto de cálculos posteriores, se utilizó la siguiente codificación. En la tabla 3.1 se indica los factores y los distintos niveles.

FACTORES	NIVELES	REPRESENTACION
Reflectividad de los materiales	92.5, 67.5, 75	**R**
Profundidad	30, 25, 20	**P**
Angulo	40°, 30°, 25°	**A**

Tabla 3.1: Factores y niveles

Los valores de 92.5, 67.5, 75 son valores medios de los rangos de la capacidad reflectiva de cada uno de los materiales obtenidos de la tabla 2.1 expuesto en el capítulo II.

- Reflectividad, *denominada **R** y dada en %. Es una variable numérica* continua y su rango es de 0 a 100.
- Profundidad, denominada **P** y dada en cm. Es una variable numérica continua y su rango es de 0 a ∞.
- Ángulo, denominada **A** y dada en grados sexagesimales. Es una variable numérica continua y su rango es de 0 a 90.

Para la realización del presente trabajo se tomó un nivel de significancia de α=0.05. El cual es un valor aceptable para poder llegar a rechazar o aceptar las hipótesis que nos hemos planteado.

Como variable dependiente es la temperatura **T**, se trata de una Variable numérica continua. Esta variable es medida en grados centígrados (°C).

Los datos que permiten modelar se obtuvieron mediante un diseño de experimentos trifactorial por bloque al azar, donde cada variable independiente fue fijada para tres niveles. Estos valores se seleccionaron teniendo en cuenta las características más comunes. Se realizó tres repeticiones (T1, T2 y T3) en la medición de la temperatura para cada una de las 27 configuraciones de los valores de las tres variables independientes. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.2.

R	P	A	T1	T2	T3
92,5	30	40	85	84	86
92,5	30	30	88	87	86
92,5	30	25	86	88	86
92,5	25	40	89	91	90
92,5	25	30	91	88	89
92,5	25	25	90	89	90
92,5	20	40	95	96	94
92,5	20	30	95	97	96
92,5	20	25	96	97	95
67,5	30	40	88	89	86
67,5	30	30	83	86	85
67,5	30	25	87	86	89
67,5	25	40	91	89	90
67,5	25	30	90	91	92
67,5	25	25	85	84	86
67,5	20	40	91	90	92
67,5	20	30	93	95	94
67,5	20	25	92	92	94
75	30	40	86	84	86
75	30	30	87	85	86
75	30	25	87	88	86
75	25	40	87	89	89
75	25	30	91	92	91
75	25	25	89	90	89
75	20	40	92	92	91
75	20	30	95	94	96
75	20	25	91	92	91

Tabla 3.2. Valores medidos de la temperatura T para los valores establecidos de las variables independientes Reflectividad (R), Profundidad (P) y Angulo (A).

Influencia de las repeticiones en los resultados de las mediciones de la temperatura.

Se realizó un análisis de los datos de la tabla 3.2, de la cual se determinó los valores medios de las repeticiones para cada tratamiento (TP), desviación estándar (D) y coeficiente de variación (CV). Para el procesamiento de los datos de la tabla 3.2. Se utilizó el software Microsoft Excel 2007. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.3

R	P	A	TP	D	CV
92,5	30	40	85.0	1.00	1,2
92,5	30	30	87.0	1.00	1,2
92,5	30	25	86,7	1,16	1,3
92,5	25	40	90.0	1.00	1,1
92,5	25	30	89,3	1,53	1,7
92,5	25	25	89,7	0,58	0,6
92,5	20	40	95.0	1.00	1,1
92,5	20	30	96.0	1.00	1.0
92,5	20	25	96.0	1.00	1.0
67,5	30	40	87,7	1,53	1,7
67,5	30	30	84,7	1,53	1,8
67,5	30	25	87,3	1,53	1,8
67,5	25	40	90.0	1.00	1,1
67,5	25	30	91.0	1.00	1,1
67,5	25	25	85.0	1.00	1,2
67,5	20	40	91.0	1.00	1,1
67,5	20	30	94.0	1.00	1,1
67,5	20	25	92,7	1,16	1,3
75	30	40	85,3	1,16	1,4
75	30	30	86.0	1.00	1,2
75	30	25	87.0	1.00	1,2
75	25	40	88,3	1,16	1,3
75	25	30	91,3	0,58	0,6
75	25	25	89,3	0,57	0,7
75	20	40	91,7	0,58	0,6
75	20	30	95.0	1.00	1,1
75	20	25	91,3	0,58	0,6

Tabla 3.3 Valores medios Temperatura media Tm; Desviación Estándar (D) y Coeficiente de Variación (dado en %) (CV) de la temperatura para los valores establecidos de las variables independientes Reflectividad (R), Profundidad (P) y Angulo (A).

De los resultados de la tabla 3.3, se desprende que el Coeficiente de Variación es muy bajo (no mayor que el 1,80%), lo que es un indicio que no existe variabilidad significativa en las repeticiones, por lo cual para cálculos futuros se considerará únicamente la temperatura media de cada tratamiento. Así también, se puede deducir que la precisión de las mediciones es adecuada y la exactitud de las mediciones está garantizada por la calidad de los instrumentos y por el protocolo seguido durante las mismas.

Influencia de los Factores e interacciones.

Con los datos de la tabla 3.2, resultado de los 27 tratamientos con tres réplicas, se realizó el análisis de varianza para contrastar las hipótesis nulas planteadas para los factores y las interacciones dobles y triples, con un nivel de significancia del 5%.

Para la realización del análisis de varianza se utilizó el software Tierra Versión 2.7 del año 2007 desarrollado por el Dr. Arístides Alejandro Legrá Lobaina Del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba;

Los resultados obtenidos del análisis de varianza se los indica en la tabla 3.4

ANOVA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media Cuadrada	Fc	Ft	
Repeticiones	2	0,617	0,309	0,267	3.175	ns
R	2	24,3950	12,198	10,563	3.175	*
P	2	733,135	366,568	317,43	3.175	*
R P	4	38,641	9,66	8,366	2.549	*
A	2	21,654	10,827	9,376	3.175	*
R A	4	19,458	4,864	4,212	2.549	*
P A	4	42,716	10,679	9,248	2.549	*
R P A	8	60,395	7,549	6,537	2.122	*
Error	52	60,049	1,155			
Total	80	1001,061				

Tabla 3.4: Análisis de Varianza para determinar el grado de relación de las Repeticiones; Reflectividad R; Profundidad P; Angulo A; interacción Reflectividad, Profundidad RP; interacción Reflectividad, Angulo RA; interacción Angulo, Profundidad AP; y la interacción Reflectividad, Profundidad, Angulo RPA; con respecto a la temperatura T

Los valores de distribución F de Fisher tabulado se los tomó de la tabla expuesto en el Anexo 1

De los resultados obtenidos en el ANOVA se determinó que:

- Las repeticiones para cada experimento no influyen significativamente en los cambios de temperatura. Esto quiere decir que las variaciones en los valores de las mediciones en cada ensayo, son pequeñas y no son provocadas por las variaciones de los factores **R, P** y **A**, sino por otros factores aleatorios que no han sido considerados.

- Las fuentes de variación escogidas (reflectividad de los materiales, la profundidad de las cocinas y el ángulo de inclinación) son estadísticamente significativas, por tanto cada una de ellas influye directamente en los cambios de temperatura.

- Las interacciones de los factores (RP; AP; RA y RPA) son estadísticamente significativas, en otras palabras los factores en estudio interactúan entre sí para producir cambios significativos en los valores de temperatura.

Para interpretación de los resultados obtenidos en el ANOVA se presenta a continuación los siguientes gráficos los cuales ilustran el comportamiento de las fuentes de variación y sus respectivas interacciones. Estas figuras se las obtuvo mediante la utilización del software estadístico SPSS versión 17.

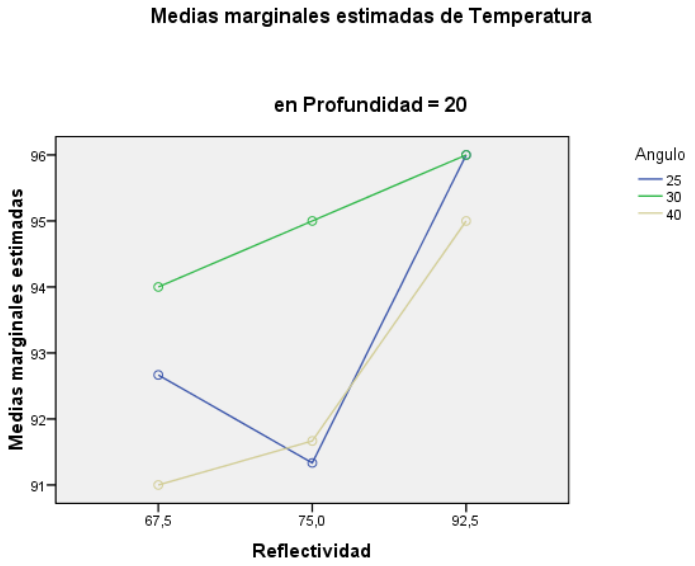


Figura 3.1 a: Interacción en base a la profundidad de 20 cm

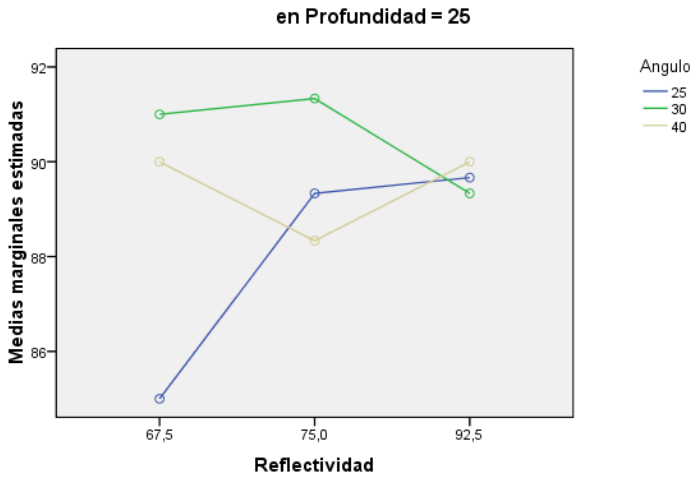


Figura 3.1 b: Interacción en base a profundidad de 25 cm

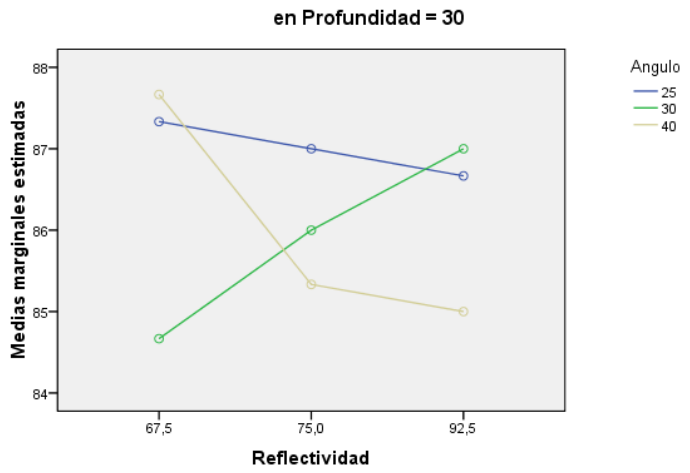


Figura 3.1 c: Interacción en base a profundidad de 30 cm

Mediante las graficas expuestas anteriormente se determinó que:

El factor profundidad es más determinante en la ganancia de calor en la cocina solar tipo caja, por ende tomaremos como punto de partida este factor para el siguiente análisis.

- A una profundidad de 20 cm, una reflectividad de 92.5 (espejo) y un ángulo de 25 y 30 grados se obtuvo una temperatura máxima de 96 ºC como se ilustra en la figura 3.1 a.

- A una profundidad de 25 cm, una reflectividad de 75 (Acero inoxidable) y un ángulo de 30 grados se obtuvo una temperatura máxima de 91 ºC como se observa en la figura 3.1 b

- A una profundidad de 30 cm, la reflectividad y el ángulo no inciden mayor mente en la ganancia de calor, la máxima temperatura alcanzada es de 88 grados como se demuestra en la figura 3.1 c.

De los resultados obtenidos en el ANOVA y las graficas se determinó que los niveles más óptimos son: profundidad de 20cm, reflectividad de 92.5 (espejo) y un ángulo de 30 grados.

Teniendo en consideración lo citado en la revisión bibliográfica, en el capítulo I, la cual nos indica que: Dadas dos cocinas solares que tengan áreas de acumulación de igual tamaño e igual proporción, aquella de menor profundidad será más caliente porque tiene menor área de pérdida de calor, por ende tendrá mayor capacidad de retención de calor en su interior. Así como también se tomó como referencia las experiencias realizadas por la Universidad Nacional de Ingeniería Lima-Perú. en la cual se realizó un análisis de dos cocinas denominadas Nandwani de idénticas características físicas constructivas en las cuales variaba únicamente su profundidad, las cuales son de 14 y 17 cm respectivamente , se evidenció que la cocina de menor profundidad tiende a calentar más rápido y guarda calor por mucho más tiempo que su similar en comparación.

Por lo expuesto anteriormente y por los resultados obtenidos en el ANOVA, se determinó que existe tendencia al incremento de la temperatura en la medida que se disminuye la profundidad.

.

Tomando como referencia las leyes de la reflexión citadas en el capitulo I, las cuales nos indican que el ángulo de incidencia solar es igual al ángulo de reflexión o rebote, se toma especial interés en el estudio de las propiedades físicas de los materiales utilizados como placas reflectoras, para determinar si el tipo de radiación reflejada, es especular o difusa.

En nuestro caso nos interesa la radiación difusa porque esta se distribuye uniformemente. La radiación difusa, está determinada por la calidad del material empleado, ya que mientras más pulidas y compactas a nivel molecular sean las superficies, la reflexión incidente en el interior de las cocinas será mucho mayor.

Tomando como referencia lo expuesto en el Trabajo Realizado en el Departamento de ingeniería eléctrica y energética de la Universidad de Cantabria denominado procesos termosolares en baja, media y alta temperatura, pág. 36, nos indica que frente a una superficie perfectamente plana, la luz se reflejará en el mismo ángulo en que incidió. Esta es una ley física que se utiliza en el diseño de cocinas solares para ubicar los reflectores con el fin de aumentar la cantidad de luz incidente en el interior de la cocinas. Esta variable está estrechamente ligada con el material, ya que al contar con un buen material reflectante ubicado a un ángulo óptimo se gana calor en el interior en las cocinas solares tipo caja.

Ajuste del modelo matemático: Análisis de Regresión

Para obtener el mejor ajuste del modelo matemático que exprese explícitamente el comportamiento de las variables independientes con respecto a la variable dependiente se realizó un análisis comparativo de todas sus posibles combinaciones.

Los modelos presentados a continuación se los obtuvieron mediante la implementación del software Tierra. Se tomo la base de datos de la tabla 3.2

Modelo 1: Temperatura en función de los tres factores (R, P y A) e interacciones.

$$T = 119{,}4194 - 0{,}111418\,R - 1{,}692216\,P - 1{,}368346\,A + 0{,}0112786\,R\,P + 0{,}016418\,R\,A + 0{,}065559\,P\,A - 0{,}00080653\,R\,P\,A$$

ANALISIS DE VARIANZA

	Grados de Libertad	*Suma de Cuadrados*	*Promedio de cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*
Varianza Explicada	7	263,544	37,649	14,32	2,26777E-06
Varianza Residual	19	49,921	2,627		
Total	26	313,465			

Tabla 3.5. Análisis de varianza de regresión con las tres variables

Coeficiente de correlación, **r** =0,92

Para una prueba t de Student con nivel de confianza 0.95:

El intervalo de confianza de **r** está dado por el intervalo: [0,82 ; 0,96], lo cual significa que, con una confianza del 95%, podemos decir que en el peor de los casos el valor de **r** será mayor que 0,82

Error estándar de una estimación: 1,67

Para comprobar la validez del modelo se realiza una prueba F de Fisher con nivel de confianza 0,95.

El valor del factor calculado Fc para el ajuste es 14,33

El valor de Factor tabulado Ft por la tabla es 2,51.

El ajuste es estadísticamente significativo ya que Fc>Ft.

En la figura 3.2 se ilustra el comportamiento del modelo que nos permite establecer los estados de mayor y menor temperatura:

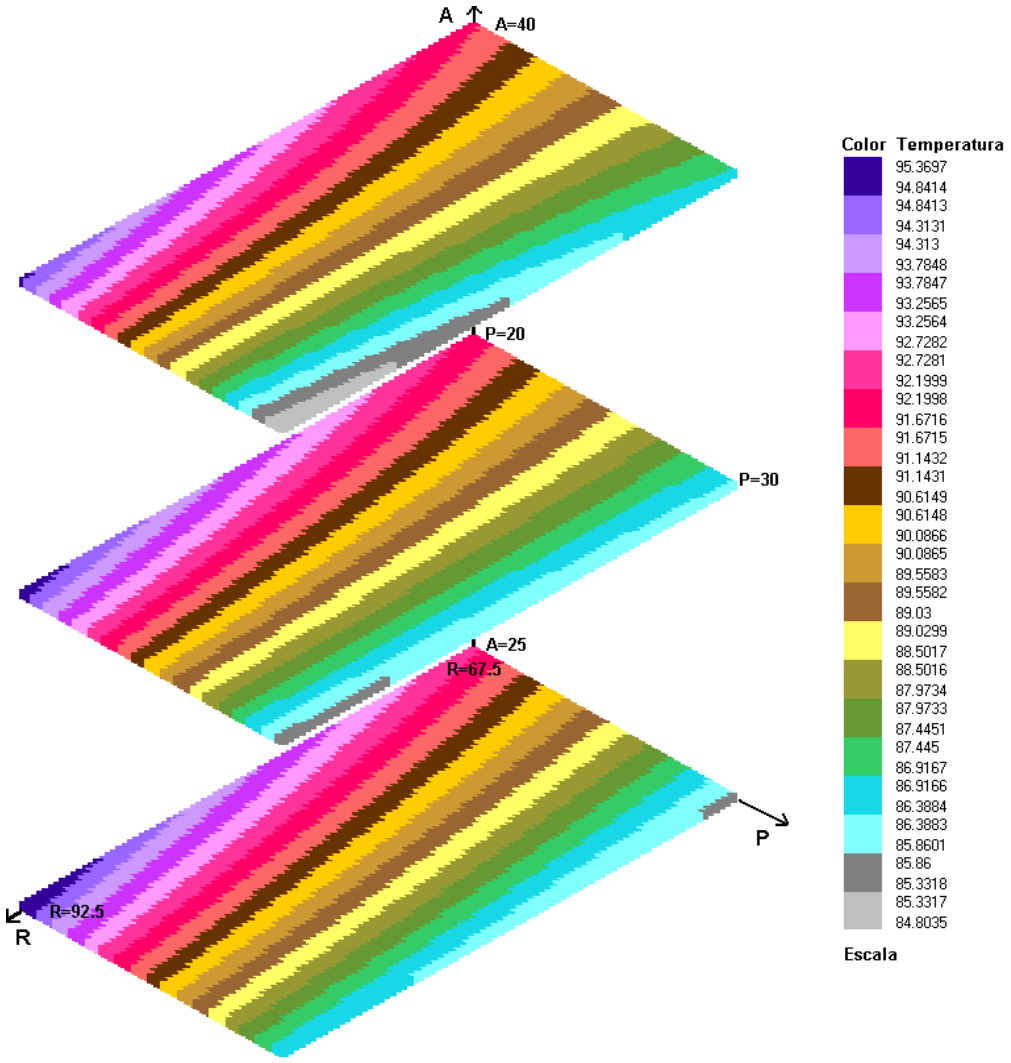


Figura 3.2. Resultados Regresión

A partir de la figura 3.2 determinamos que:

- La mayor temperatura (96 ºC) se obtiene cuando el material es Espejo que tiene una reflectividad de 92,5%, Profundidad de 20 cm y Ángulo de 30ºC.

- La menor temperatura (84 ºC) se obtiene cuando el material es Espejo con una reflectividad de 92,5%, Profundidad es de 30 cm y Ángulo es de 40ºC; y cuando el material es aluminio con una reflectividad de 67,5%, Profundidad de 30cm y Ángulo de 25ºC.

Modelo 2: Temperatura en función de los factores: Reflectividad y Profundidad. $T = f(R, P)$

$$T = 76{,}08848 + 0{,}408484\ \mathrm{R} + 0{,}383821\ \mathrm{P} - 0{,}0142615\ \mathrm{R\,P}$$

ANALISIS DE VARIANZA

	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de Cuadrados	F	Valor crítico de F
Varianza Explicada	3	260,036	86,678	37,31	5,2814E-09
Varianza Residual	23	53,428	2,322		
Total	26	313,465			

Tabla 3.6 Análisis de varianza de la Regresión con reflectividad y profundidad

Error estándar de una estimación: 1,56

Coeficiente de correlación, r =0,91.

Para una prueba t de Student con nivel de confianza 0.95:

El intervalo de confianza de r está dado por [0,81 ; 0,96] lo cual significa que, con una confianza del 95%, podemos decir que en el peor de los casos el valor de r será mayor que 0,81

Para comprobar la validez del modelo se realizó una prueba F de Fisher, con nivel de confianza 0,95.

El valor de Fc para el ajuste es 37,31

El valor de Ft por tabla es 2,82.

El ajuste es estadísticamente significativo ya que Fc>Ft.

Gráficamente los resultados se demuestran en la figura 3.3

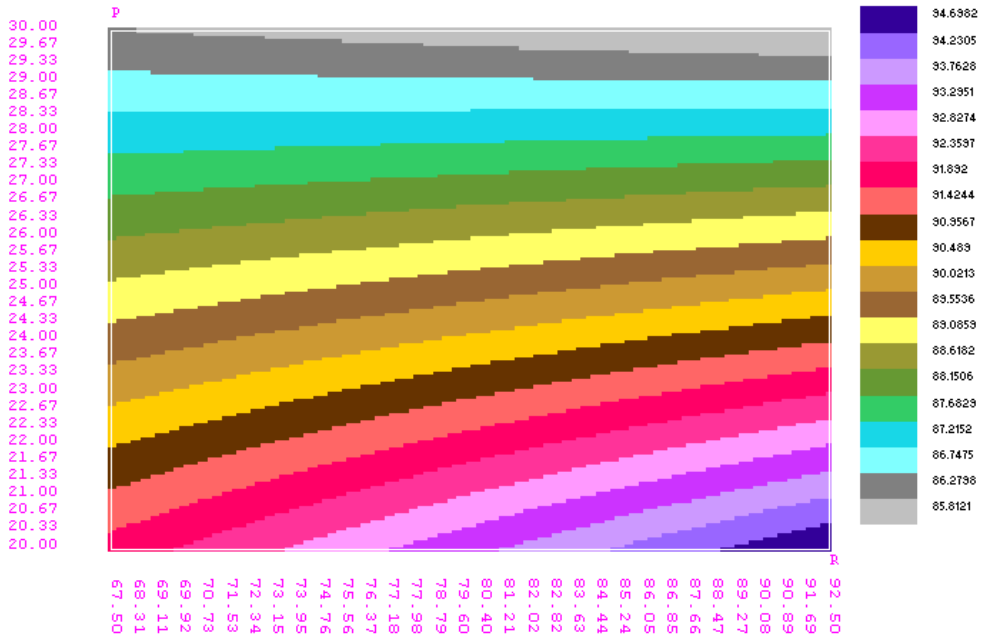


Figura 3.3 Resultados Gráficamente

La limitación de este modelo se debe a que no ha sido considerada la influencia de A. Esta limitación puede aquilatarse si observamos las diferencias entre los datos y el modelo en la: Figura 3.4

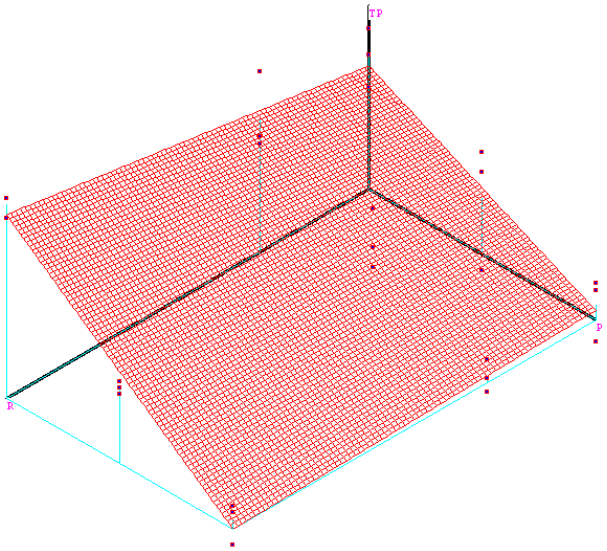


Figura 3.4 Modelo De Reflectividad y Profundidad

Modelo 3: Temperatura en función de los factores: Reflectividad y Angulo. $T = f(R, A)$

$$T = 77{,}114031 + 0{,}17054695\,\mathrm{R} + 0{,}2706308\,\mathrm{A} - 0{,}003745\,\mathrm{R\,A}$$

Análisis de Varianza de la regresión

	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Promedio de Cuadrados	F	Valor crítico de F
Varianza Explicada	3	10,153	3,3844	0,256	0,855
Varianza Residual	23	303,311	13,187		
Total	26	313,465			

Tabla 3.7 Análisis de varianza de la regresión con reflectividad y ángulo

Error estándar de una estimación: 3,71

Coeficiente de correlación, r =0.18.

Para una prueba t de Student con nivel de confianza 0.95:

El intervalo de confianza de r es [-0.21, 0.52] lo cual significa que, con una confianza del 95%, podemos decir que en el peor de los casos el valor de r será mayor que -0,21

Para comprobar la validez del modelo realizamos una prueba F de Fisher, con nivel de confianza 0,95.

El valor de Fc para el ajuste es 0,26;

El valor de Ft por la tabla es 2,82.

El ajuste no es estadísticamente significativo ya que Fc<=Ft.

Para este caso, sacar a la variable P del modelo provoca que este no tenga ahora la calidad esperada. Gráficamente esto puede observarse fácilmente: Figura 3.5

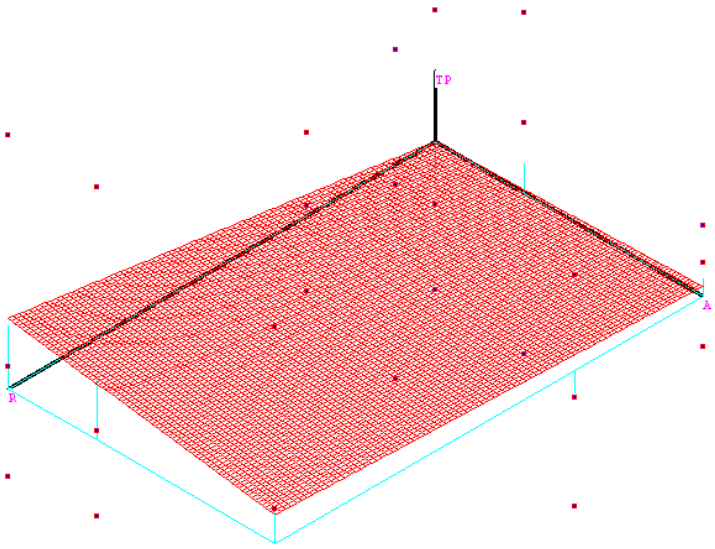


Figura 3.5. Resultado gráficamente sin Profundidad

Modelo 4: Temperatura en función de los factores: Profundidad y Angulo. $T = f(P, A)$

$$T = 110{,}69172 - 0{,}808727\ \mathrm{P} - 0{,}0822727\ \mathrm{A} + 0{,}00238086\ \mathrm{P\,A}$$

Análisis de Varianza

	Grados de Libertad	*Suma de Cuadrados*	*Promedio de Cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*
Varianza Explicada	3	242,642	80,881	26,267	1,3084E-07
Varianza Residual	23	70,822	3,079		
Total	26	313,465			

Tabla 3.8 Análisis de varianza de la regresión con profundidad y ángulo

Error estándar de una estimación: 1,79.

Coeficiente de correlación, r =0,88.

Para una prueba t de Student con nivel de confianza 0.95:

El intervalo de confianza de r es [0,75 ; 0.95] lo cual significa que, con una confianza del 95%, se puede decir que en el peor de los casos el valor de r será mayor que 0,75

Para comprobar la validez del modelo se realiza una prueba F de Fisher, con nivel de confianza 0,95.

El valor de Fc para el ajuste es 26,26,

El valor de Ft por la tabla es 2,82.

El ajuste es estadísticamente significativo ya que Fc>Ft.

En este caso el modelo es aceptable, se puede observar en la Figura 3.6

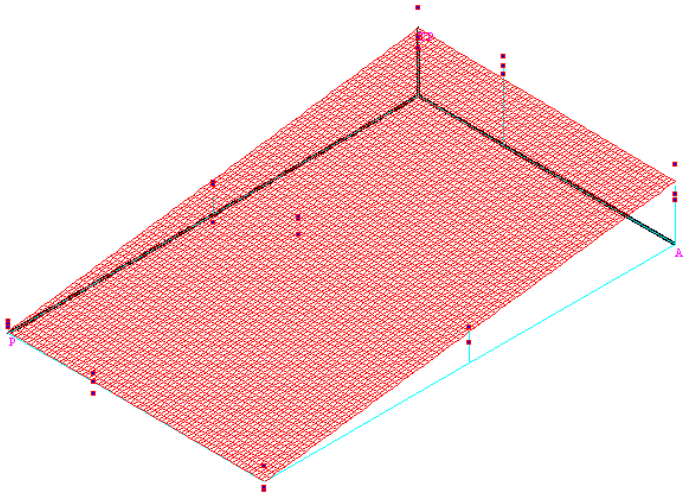


Figura 3.6. Modelo sin Reflectividad

Modelo 5: Temperatura en función de la Reflectividad $T = f(R)$

$$T = 85{,}684007 + 0{,}05194568R$$

Análisis de varianza

	Grados de Libertad	*Suma de cuadrados*	*Promedio de cuadrados*	*F*	*Valor crítico de F*
Varianza explicada	1	7,993	7,993	0,654	0,426
Varianza residual	25	305,471	12,218		
Total	26	313,465			

Tabla 3.9 Análisis de varianza de la Regresión con Reflectividad

Error estándar de una estimación: 3,57

Coeficiente de correlación, r =0,16

Para una prueba t de Student con nivel de confianza 0.95:

El intervalo de confianza de r está dado por: [-0,23; 0,51] lo cual significa que, con una confianza del 95%, se puede decir que en el peor de los casos el valor de r será mayor que -0,23.

Para comprobar la validez del modelo se realiza una prueba F de Fisher, con nivel de confianza 0,95

El valor de Fc para el ajuste es 0,65.

El valor de Ft por la tabla es 3,40.

El ajuste no es estadísticamente significativo ya que Fc<=Ft.

Gráficamente puede observarse la inconveniencia del modelo: Figura 3.7

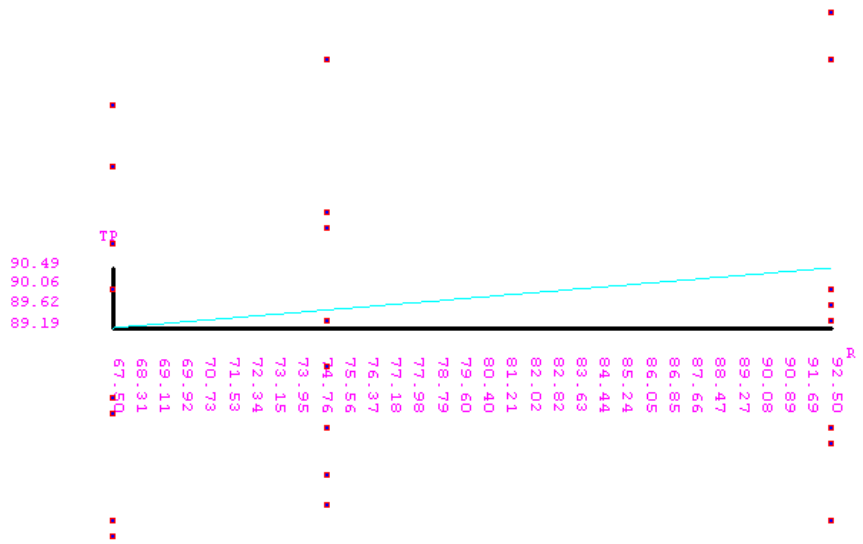


Figura 3.7. Modelo Temperatura con Reflectividad

Modelo 6: Temperatura en función de la Profundidad. $T = f(P)$

$$T = 108{,}0864185 - 0{,}73333P$$

Análisis de varianza

	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Promedio de Cuadrados	F	Valor crítico de F
Varianza Explicada	1	242	242	84,656	1,6749E-09
Varianza Residual	25	71,465	2,858		
Total	26	313,465			

Tabla 3.10 Análisis de Varianza de la Regresión con profundidad

Error estándar de una estimación: 1,73

Coeficiente de correlación, r =0.88.

Para una prueba t de Student con nivel de confianza 0.95:

El intervalo de confianza de r igual a [0,75 ; 0,95] lo cual significa que, con una confianza del 95%, se puede decir que en el peor de los casos el valor de r será mayor que 0,75

Para comprobar la validez del modelo se realiza una prueba F de Fisher, con nivel de confianza 0,95.

El valor de Fc para el ajuste es 84,66,

El valor de Ft por la tabla es 3,40. El ajuste es estadísticamente significativo ya que Fc>Ft.: Figura 3.8

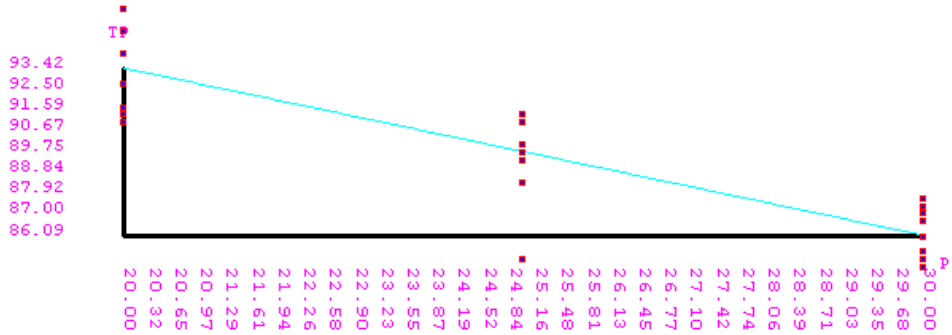


Figura 3.8 Modelo Temperatura con Profundidad

Modelo 7: Temperatura en función del Angulo. $T = f(A)$

$$T = 90{,}4735 - 0{,}02275127A$$

Análisis de varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de Cuadrados	F	Valor crítico de F
Varianza Explicada	1	0,543	0,544	0,0434	0,8366
Varianza Residual	25	312,922	12,516		
Total	26	313,465			

Tabla 3.11. Análisis de varianza de la Regresión con ángulo

Error estándar de una estimación: 3,61

Coeficiente de correlación, r = 0,04.

Para una prueba t de Student con nivel de confianza 0.95:

El intervalo de confianza de r es [-0,34; 0,42] lo cual significa que, con una confianza del 95%, se puede decir que en el peor de los casos el valor de r será mayor que -0,34.

Para comprobar la validez del modelo realizamos una prueba F de Fisher

Con nivel de confianza 0,95.

El valor de Fc para el ajuste es 0,04,

El valor de Fisher tabulado por la tabla es 3,4

El ajuste no es estadísticamente significativo ya que Fc<Ft.

La inconveniencia del modelo puede observarse en el siguiente Figura 3.9:

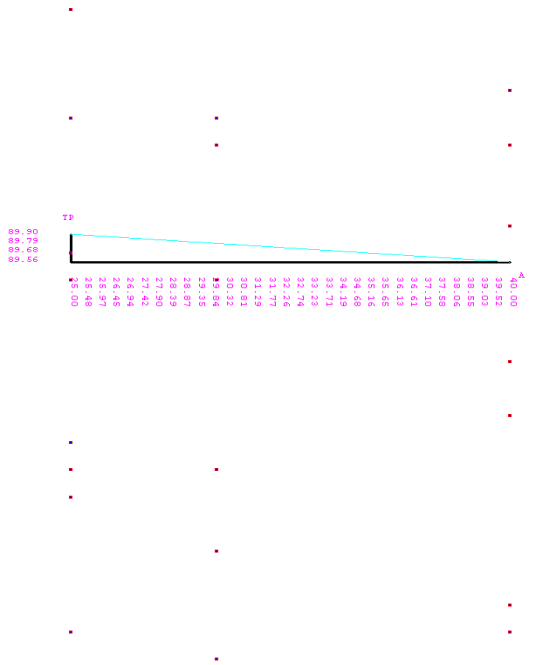


Figura 3.9. Modelo de Temperatura con Angulo

En la siguiente tabla 3.12 se hace una síntesis de los distintos modelos matemáticos.

MODELO	COEFICIENTE DE CORRELACION
T= f(R,P,A)	0.92
T= f(R,P)	0.91
T= f(R,A)	0.18
T= f(P,A)	0.88
T= f(R,)	0.16
T= f(P)	0.88
T= f(A)	0.04

Tabla 3.12 Coeficiente de correlación de los modelos

Después de haber realizado el análisis, mediante el método de los mínimos cuadrados implementado en el software Tierra a todas las combinaciones posibles, se determinó el modelo que más se ajusta al comportamiento de las cocinas solares, confirmando la hipótesis científica planteada preliminarmente, es decir que existe correlación entre las variables de entrada R, P, A y la variable de salida T.

El mejor modelo obtenido se lo presenta a continuación:

$$T = 119{,}4194 - 0{,}111418\,\mathrm{R} - 1{,}692216\,\mathrm{P} - 1{,}368346\,\mathrm{A} + 0{,}0112786\,\mathrm{R\,P} + 0{,}016418\,\mathrm{R\,A} + 0{,}065559\,\mathrm{P\,A} - 0{,}00080653\,\mathrm{R\,P\,A}$$

El coeficiente de correlación, r =0,92.

Ese modelo se lo seleccionó por tener el más alto coeficiente de correlación por ende ayudará a calcular con mejor precisión el valor medio de la temperatura, a partir de los valores de la variables establecidas en el proceso.

Se tomó como punto de referencia el valor del coeficiente de correlación para determinar el modelo más adecuado, puesto que este coeficiente determina la influencia de las variables estudiadas, con respecto a la temperatura.

En nuestro trabajo el coeficiente de correlación es de 0.92 lo cual nos indica que el 92% de la temperatura está determinada por las variables: Reflectividad de las placas, profundidad y el ángulo; y el 8% se explica por factores aleatorios no considerados en el experimento.

Es importante destacar que de las relaciones funcionales unidimensionales solo queda fundamentada la relación entre Profundidad y Temperatura y de las relaciones funcionales bidimensionales son aceptables T=f(R,P) y T=f(P,A).

Con estos resultados queda establecido que la variable profundidad representa una variable determinante para el incremento de la temperatura en las cocinas solares tipo caja.

También se puede decir que la variable ángulo no influye de una manera significativa en el incremento de temperatura.

Valores máximos y mínimos del Modelo Matemático

Se obtienen los valores extremos, (máximos y mínimos), de la variable temperatura.

Sea la función $T = a + bR + cP + dA + eRP + fRA + gPAhRPA$

Mediante el proceso se determinó los puntos de máximo y mínimo o de puntos de inflexión
Reflectividad está entre 67,5 y 92,5
Profundidad está entre 20 y 30
Angulo está entre 25 y 40

Se evalúa la función

$$T = 119{,}4194 - 0{,}111418\,\mathrm{R} - 1{,}692216\,\mathrm{P} - 1{,}368346\,\mathrm{A} + 0{,}0112786\,\mathrm{R\,P} + 0{,}016418\,\mathrm{R\,A} + 0{,}065559\,\mathrm{P\,A} - 0{,}00080653\,\mathrm{R\,P\,A}$$

Se define los rangos que se han declarado y el paso pequeño de 0,25 para todas las variables y se obtienen los siguientes resultados después de evaluar 100*40*60=240000 puntos:

Punto de Mínimo: (92,25 ; 29,75 ; 39,75)
Valor Mínimo: 85,11

Punto de Máximo: (92,25 ; 20 ; 30)
Valor Máximo: 95.34

Se determinó que con 92.25% de reflectividad, 20 cm de profundidad y un ángulo de 30 grados, se obtiene una temperatura de 95.34 ºC, esta es la máxima temperatura alcanzada en los ensayos térmicos por lo cual llegamos a determinar que los niveles antes mencionados son los más aptos para la construcción de cocinas solares tipo caja para llegar así a una máxima eficiencia en el proceso de cocción.

Calculo de la Eficiencia Térmica

Se determinó la eficiencia térmica de la cocina solar tipo caja con las características: 20cm de altura interna, Material de reflector Espejo, a un ángulo de 30º, con la que se obtuvo un mejor rendimiento en los ensayos térmicos.

Los cálculos se los realizó con los datos testeados en las siguientes fechas:

Monitoreo del Día 29 de Junio del 2009

Datos:

$Cp = 1\, {}^{Kcal}/_{Kg\ C^o}$

$\rho = 1000\, {}^{Kg}/_{m^3}$

$V = 1\ litro = 0.001\ m^3$

$A = (0.35\ x\ 0.35)m^2$

$I = 998\ {}^{W}/_{m^2}$

$Ti = 35\ C^O$

$Tf = 90\ C^O$

$t = 1.5\ h = 5400s$

Según la fórmula (2.2)

$m = \rho\ x\ V$

$m = 1000\ {}^{Kg}/_{m^3}\ x\ 0.001m^3$

$m = 1\ Kg$

Según la fórmula (2.1)

$$Es = \frac{m\ x\ Cp\ x\ \Delta T}{t}$$

$$Es = \frac{1\ Kg\ x\ 4186\ {}^{J}/_{Kg\ C^O}\ x\ (90 - 35)C^O}{5400\ s}$$

$$Es = 42.63\frac{J}{s}$$

$Es = 42.63W$

Según la fórmula (2.4)

$Ee = I\ x\ A$

$Ee = 996\ {}^{W}/_{m^2}\ x\ (0.35\ x\ 0.35)m^2$

$Ee = 122.25\ w$

Según la fórmula (2.5)

$$n = \frac{E\ salida}{E\ entrada}$$

$$n = \frac{42.63\ w}{122.25\ w}$$

$n = 0.348$

$n = 34.8\ \%$

Monitoreo del Día 12 de Julio del 2009

Datos:

$Cp = 1\,{}^{Kcal}/_{Kg\ C^o}$

$\rho = 1000\,{}^{Kg}/_{m^3}$

$V = 1\ litro = 0.001\ m^3$

$A = (0.35\ x\ 0.35)m^2$

$I = 996\,{}^{W}/_{m^2}$

$Ti = 35\ C^o$

$Tf = 90\ C^o$

$t = 1h\ 25min = 5100s$

Según la fórmula (2.2)

$m = \rho\ x\ V$

$m = 1000\,{}^{Kg}/_{m^3}\ x\ 0.001m^3$

$m = 1\ Kg$

Según la fórmula (2.1)

$$Es = \frac{m\ x\ Cp\ x\ \Delta T}{t}$$

$$Es = \frac{1\ Kg\ x\ 4186\,{}^{J}/_{Kg\ C^o}\ x\ (90 - 35)C^o}{5100s}$$

$$Es = 45.14\frac{J}{s}$$

$Es = 45.14W$

Según la fórmula (2.4)

$Ee = I\ x\ A$

$Ee = 996\,{}^{W}/_{m^2}\ x\ (0.35\ x\ 0.35)m^2$

$Ee = 122\ w$

Según la fórmula (2.5)

$$n = \frac{E\ salida}{E\ entrada}$$

$$n = \frac{45.14\ w}{122\ w}$$

$$n = 0.37$$

$$n = 37\ \%$$

Monitoreo del Día 13 de Septiembre del 2009

Datos:

$$Cp = 1\ {}^{Kcal}/_{Kg\ C^O}$$

$$\rho = 1000\ {}^{Kg}/_{m^3}$$

$$V = 1\ litro = 0.001\ m^3$$

$$A = (0.35\ x\ 0.35)m^2$$

$$I = 997\ {}^{W}/_{m^2}$$

$$Ti = 35\ C^O$$

$$Tf = 90\ C^O$$

$$t = 1.5h = 5400s$$

Según la fórmula (2.2)

$$m = \rho\ x\ V$$

$$m = 1000\ {}^{Kg}/_{m^3}\ x\ 0.001m^3$$

$$m = 1\ Kg$$

Según la fórmula (2.1)

$$Es = \frac{m\ x\ Cp\ x\ \Delta T}{t}$$

$$Es = \frac{1\ Kg\ x\ 4186\ {}^{J}/_{Kg\ C^O}\ x\ (90 - 35)C^O}{5400s}$$

$$Es = 42.63 \frac{J}{s}$$

$$Es = 42.63W$$

Según la fórmula (2.4)

$$Ee = I\ x\ A$$

$$Ee = 997\, {}^{W}/_{m^2}\ x\ (0.35\ x\ 0.35)m^2$$

$$Ee = 122.13\ w$$

Según la fórmula (2.5)

$$n = \frac{E\ salida}{E\ entrada}$$

$$n = \frac{42.63\ w}{122.13\ w}$$

$$n = 0.349$$

$$n = 34.9\ \%$$

Según la fórmula (2.6)

$$\boldsymbol{n_T = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3}}$$

$$\boldsymbol{n_T = \frac{34.8 + 37 + 34.9}{3}}$$

$$\boldsymbol{n_T = 35.56\%}$$

Día	Rad. Promedio	Temperatura Inicial (Ti)	Temperatura Final (Tf)	tiempo	n
29 de	$998\, {}^{W}/_{m^2}$	35 Cº	90 Cº	5400s	34.8%

Junio de 2009					
12 de Julio de 2009	$996\,{}^{w}/_{m^2}$	35 Cº	90 Cº	5100s	37%
13 de septiembre de 2009	$997\,{}^{w}/_{m^2}$	35 Cº	90 Cº	5400s	34.9%
					35.56%

Tabla 3.13 Eficiencia térmica

CAPITULO IV

VALORACION SOCIO-ECONOMICA

DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL
Pancha de playwood (1.2cm)	2	28	56
Rollos de lana de vidrio	14	5,5	77
Plancha acero inoxidable 0.4mm	1	30	30
Plancha fría-latón 1.1 (1/20)	1	22	22
Papel aluminio (9 x 0,30)m	4	5,25	21
Tornillo áster 1 (1/2)"x 8 (4x40mm)	200	0,04	8
Tornillo (7 x 1/2)"	50	0,03	1,5
Bisagras de presión	6	0,5	3
Remaches	24	0,15	3,6
Perno 1/2" con tuerca	12	0,2	2,4
Suelda	2	0,5	1
Tubo Cuad. 12mm x 8mm (1/2)"	2	2,85	5,7
U de 1/2 x 1/2 natural	3	5	15
Vidrio Claro 3mm	1	39,6	39,6
Manijas 02 natural	18	0,5	9
Manija metálica	6	1,25	7,5
Cola blanca	2	2,5	5
Silicón abro transparente	4	3,75	15
1/4 Pintura negro mate anticorrosivo	1	5	5
1/4 Sellador	1	4	4
2/4 laca caoba	1	8	8
Lija 500	5	0,35	1,75
Ollas de aluminio de 2 Lit.	3	4	12
Termocuplas	18	4,5	81
Multímetros	3	14	42
Piranómetro	1	220	220
Termómetro (0 - 100)grados	1	15	15
Viajes realizados para el monitoreo	112	3	180
Transporte de las cocinas	15	2	30
Curso Estadística		300	300
Varios		500	500
		TOTAL	1621,05

CONCLUSIONES

Luego de haber realizado el análisis de los resultados de la investigación de las cocinas solares tipo caja se concluye que:

- Las fuentes de variación y niveles determinadas para el desarrollo de la parte experimental de la investigación son: grados de inclinación de las placas reflectoras a 25º, 30º, 40º; profundidad de la placa base a 20, 25, 30 cm; materiales de las placas reflectoras de espejo, acero inoxidable y aluminio.

- El modelo matemático que mejor nos permite determinar el comportamiento de las cocinas solares tipo caja experimentadas es el modelo en el cual intervienen las tres variables y sus interacciones
$$T = 119{,}4194 - 0{,}111418\,\mathrm{R} - 1{,}692216\,\mathrm{P} - 1{,}368346\,\mathrm{A} + 0{,}0112786\,\mathrm{R\,P} + 0{,}016418\,\mathrm{R\,A} + 0{,}065559\,\mathrm{P\,A} - 0{,}00080653\,\mathrm{R\,P\,A}$$
obteniendo un coeficiente de correlación de 92%.

- Los parámetros de diseño más eficientes para la construcción de cocinas solares tipo caja son: el material espejo con una reflectividad de 92.5 %; profundidad de 20 cm y un ángulo de las placas reflectoras de 30º, con la cual se alcanzó una temperatura de 96ºC, con una eficiencia térmica del 35.64%. Para el intervalo determinado por el solsticio de junio al equinoccio de septiembre.

RECOMENDACIONES

Luego de obtener los resultados de la experimentación y análisis llegamos a las siguientes recomendaciones.

- Se debe plantear una metodología para el proceso de experimentación, mediante la cual se obtenga datos reproducibles disminuyendo el error experimental el cual se presenta muy a menudo en este tipo de investigaciones.

- Utilizar instrumentos de medición, de fácil accesibilidad, manipulación y sobre todo que nos brinden un nivel de confianza aceptable de los datos obtenidos.

- Para un correcto análisis de los datos se debe hacer un estudio de sus parámetros y escoger un diseño experimental que se adapte a las necesidades y características de la investigación.

- Para la determinación de los factores y niveles de diseño se debe realizar una adecuada revisión bibliográfica para así tener un correcto análisis.

BIBLIOGRAFÍA.

Libros

CINER. Segundas Jornadas de Actualización en Energías Renovables. Cochabamba -Bolivia, Septiembre 1997, 180pag.

Energía Térmica Solar y Sus Aplicaciones. Edit., Aprotec. Cali-Colombia, 172pag.

FERNANDEZ, Pedro. Procesos Termosolares de Baja, Media y Alta Temperatura. Edit., Universidad de Cantabria. España, 244pag.

MILLER, IRWIN, *et al*, 2005. *Probabilidades y estadísticas para ingenieros*. Volumen I y II. Editorial Félix Varela, Ciudad Habana, (Página 440)

MORILLO, ETHELVINA. 1995. Cocinando con el Sol Edit., Educa. Costa Rica 93pag.

PEDROLLO. Electrobombas. Edit., San Bonifacio. Verona-Italia 2000. 163pag.

TURRINI, Enrico. El Camino del Sol. Edit., Columbos. La Habana-Cuba 1999, 322pag.

Tesis.

- Chimbo Armijos, Edisson. 2003, DISEÑO DE UNA COCINA SOLAR TIPO CAJA", (tesis Ingeniería Electromecánica), Loja – Ecuador, Universidad Nacional de Loja, Área de La Energía, Industria y Los Recursos naturales No Renovables, Carrera Ingeniería Electromecánica, Capitulo II y III.
- Fernández, Pedro. Procesos Termosolares En Baja, Media Y Alta Temperatura, Universidad De Cantabria, Departamento De Ingeniería, Eléctrica Y Energética

- Paccha, Edwin y Samaniego Carlos. 2009, Diseño Construcción y Experimentación de una cocina solar con aceite térmico, (tesis Ingeniería Electromecánica), Loja – Ecuador, Universidad Nacional de Loja, Área de La Energía, Industria y Los Recursos naturales No Renovables, Carrera Ingeniería Electromecánica, Capitulo II

SITIOS WEB:

- Florida Solar Energy Center. http://www.fsec.ucf.edu/Solar/PROJECTS/SolarCooker/reflectivematerialsreport.pdf
- Universidad Nacional de Río Cuarto. Ing. A. Lema, M. Pontin, M. Ghirardotto, A. Sanmartino. www.ing.unrc.edu.ar
- Test Solar Cooking, (en linea) [http://www.math.montana.edu/frankw/ccp/CBL/temperature/TI-83/calc.htm]
- Universidad Nacional de Ingeniería, en Lima, Perú (http://www.uni.edu.pe), cocinas Nandwani

ANEXOS

Anexo 1.a

Tabla G. Valores seleccionados de $F^{m}_{n,\,0.05}$

En la distribución de F con *m* grados de libertad en el numerador y *n* grados de libertad en el denominador, la tabla proporciona valores $F^{m}_{n,\,0.05}$, tales que $P(F^{m}_{n} \geq F^{m}_{n,\,0.05})) = 0.05$

n \ m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	161.448	199.500	215.707	224.583	230.162	233.986	236.768	238.883	240.543	241.882	242.983
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353	19.371	19.385	19.396	19.405
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.786	8.763
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.936
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.027
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.687	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.313
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.102
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.943
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.541	2.588	2.544	2.507
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.413
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.374
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.340
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.310
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.283
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.454	2.397	2.342	2.297	2.259
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.236
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.216
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.181
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.166
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.151
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.125
31	4.160	3.305	2.911	2.679	2.523	2.409	2.323	2.255	2.199	2.153	2.114
32	4.149	3.295	2.901	2.668	2.512	2.399	2.313	2.244	2.189	2.142	2.103
33	4.139	3.285	2.892	2.659	2.503	2.389	2.303	2.235	2.179	2.133	2.093
34	4.130	3.276	2.883	2.650	2.494	2.380	2.294	2.225	2.170	2.123	2.084
35	4.121	3.267	2.874	2.641	2.485	2.372	2.285	2.217	2.161	2.114	2.075
36	4.113	3.259	2.866	2.634	2.477	2.364	2.277	2.209	2.153	2.106	2.067
37	4.105	3.252	2.859	2.626	2.470	2.356	2.270	2.201	2.145	2.098	2.059
38	4.098	3.245	2.852	2.619	2.463	2.349	2.262	2.194	2.138	2.091	2.051
39	4.091	3.238	2.845	2.612	2.456	2.342	2.255	2.187	2.131	2.084	2.044
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.038
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.986
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.952
70	3.978	3.128	2.736	2.503	2.346	2.231	2.143	2.074	2.017	1.969	1.928
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.910
90	3.947	3.098	2.706	2.473	2.316	2.201	2.113	2.043	1.986	1.938	1.897
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.886
110	3.927	3.079	2.687	2.454	2.297	2.182	2.094	2.024	1.966	1.918	1.877
120	3.920	3.072	2.680	2.447	2.290	2.175	2.087	2.016	1.959	1.910	1.869
200	3.888	3.041	2.650	2.417	2.259	2.144	2.056	1.985	1.927	1.878	1.837
500	3.860	3.014	2.623	2.390	2.232	2.117	2.028	1.957	1.899	1.850	1.808

Anexo 1 b

Tabla G. Valores seleccionados de $F^{m}_{n,\,0.05}$ (continuación)

n \ m	12	13	14	15	20	24	30	40	60	120	500
1	243.906	244.690	245.354	245.950	248.013	249.052	250.095	251.143	252.196	253.253	254.059
2	19.413	19.419	19.424	19.429	19.446	19.454	19.462	19.471	19.479	19.487	19.494
3	8.745	8.729	8.715	8.703	8.660	8.639	8.617	8.594	8.572	8.549	8.532
4	5.912	5.891	5.873	5.858	5.803	5.774	5.746	5.717	5.688	5.658	5.635
5	4.678	4.655	4.636	4.619	4.558	4.527	4.496	4.464	4.431	4.398	4.373
6	4.000	3.976	3.956	3.938	3.874	3.841	3.808	3.774	3.740	3.705	3.678
7	3.575	3.550	3.529	3.511	3.445	3.410	3.376	3.340	3.304	3.267	3.239
8	3.284	3.259	3.237	3.218	3.150	3.115	3.079	3.043	3.005	2.967	2.937
9	3.073	3.048	3.025	3.006	2.936	2.900	2.864	2.826	2.787	2.748	2.717
10	2.913	2.887	2.865	2.845	2.774	2.737	2.700	2.661	2.621	2.580	2.548
11	2.788	2.761	2.739	2.719	2.546	2.609	2.570	2.531	2.490	2.448	2.415
12	2.687	2.660	2.637	2.617	2.544	2.505	2.466	2.426	2.384	2.341	2.307
13	2.604	2.577	2.554	2.533	2.459	2.420	2.380	2.339	2.297	2.252	2.218
14	2.534	2.507	2.484	2.463	2.388	2.349	2.308	2.266	2.223	2.178	2.142
15	2.475	2.448	2.424	2.403	2.328	2.288	2.247	2.204	2.160	2.114	2.078
16	2.425	2.397	2.373	2.352	2.276	2.235	2.194	2.151	2.106	2.059	2.022
17	2.381	2.353	2.329	2.308	2.230	2.190	2.148	2.104	2.058	2.011	1.973
18	2.342	2.314	2.290	2.269	2.191	2.150	2.107	2.063	2.017	1.968	1.929
19	2.280	2.256	2.234	2.155	2.114	2.071	2.026	1.980	1.930	1.891	1.891
20	2.250	2.225	2.203	2.124	2.082	2.039	1.994	1.946	1.896	1.856	1.856
21	2.250	2.222	2.197	2.176	2.096	2.054	2.010	1.965	1.916	1.866	1.825
22	2.226	2.198	2.173	2.151	2.071	2.028	1.984	1.938	1.889	1.838	1.797
23	2.204	2.175	2.150	2.128	2.048	2.005	1.961	1.914	1.865	1.813	1.771
24	2.183	2.155	2.130	2.108	2.027	1.984	1.939	1.892	1.842	1.790	1.747
25	2.165	2.136	2.111	2.089	2.007	1.964	1.919	1.872	1.822	1.768	1.725
26	2.148	2.119	2.094	2.072	1.990	1.946	1.901	1.853	1.803	1.749	1.705
27	2.132	2.103	2.078	2.056	1.974	1.930	1.884	1.836	1.785	1.731	1.686
28	2.118	2.089	2.064	2.041	1.959	1.915	1.869	1.820	1.769	1.714	1.669
29	2.104	2.075	2.050	2.027	1.945	1.901	1.854	1.806	1.754	1.698	1.653
30	2.092	2.063	2.037	2.015	1.932	1.887	1.841	1.792	1.740	1.683	1.637
31	2.080	2.051	2.026	2.003	1.920	1.875	1.828	1.779	1.726	1.670	1.623
32	2.070	2.040	2.015	1.992	1.908	1.864	1.817	1.767	1.714	1.657	1.610
33	2.060	2.030	2.004	1.982	1.898	1.853	1.806	1.756	1.702	1.645	1.597
34	2.050	2.021	1.995	1.972	1.888	1.843	1.795	1.745	1.691	1.633	1.585
35	2.041	2.012	1.986	1.963	1.878	1.833	1.786	1.735	1.681	1.623	1.574
36	2.033	2.003	1.977	1.954	1.870	1.824	1.776	1.726	1.671	1.612	1.564
37	2.025	1.995	1.969	1.946	1.861	1.816	1.768	1.717	1.662	1.603	1.553
38	2.017	1.988	1.962	1.939	1.853	1.808	1.760	1.708	1.653	1.594	1.544
39	2.010	1.981	1.954	1.931	1.846	1.800	1.752	1.700	1.645	1.585	1.535
40	2.003	1.974	1.948	1.924	1.839	1.793	1.744	1.693	1.637	1.577	1.526
50	1.952	1.921	1.895	1.871	1.784	1.737	1.687	1.634	1.576	1.511	1.457
60	1.917	1.887	1.860	1.836	1.748	1.700	1.649	1.594	1.534	1.467	1.409
70	1.893	1.863	1.836	1.812	1.722	1.674	1.622	1.566	1.505	1.435	1.374
80	1.875	1.845	1.817	1.793	1.703	1.654	1.602	1.545	1.482	1.411	1.347
90	1.861	1.830	1.803	1.779	1.688	1.639	1.586	1.528	1.465	1.391	1.326
100	1.850	1.819	1.792	1.768	1.676	1.627	1.573	1.515	1.450	1.376	1.308
110	1.841	1.810	1.783	1.758	1.667	1.617	1.563	1.504	1.439	1.363	1.293
120	1.834	1.803	1.775	1.750	1.659	1.608	1.554	1.495	1.429	1.352	1.280
200	1.801	1.769	1.742	1.717	1.623	1.572	1.516	1.455	1.386	1.302	1.221
500	1.772	1.746	1.712	1.686	1.592	1.539	1.482	1.419	1.345	1.255	1.159

Anexo 2