



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COCINA ELECTRO  
SOLAR”**

**RESABALA LARA VERNY FELIPE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROPUESTAS TECNOLÓGICAS**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2017**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

**2016-10-13**

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación elaborado por:

**RESABALA LARA VERNY FELIPE**

---

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COCINA ELECTRO SOLAR”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Otto Fernando Balseca Sampedro  
**DIRECTOR**

---

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez  
**MIEMBRO**

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** RESABALA LARA VERNY FELIPE

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA COCINA ELECTRO SOLAR”

**Fecha de Examinación:** 2017-10-06

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Otto Fernando Balseca Sampedro <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>MIEMBRO</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido

---

Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido por la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Por tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Resabala Lara Verny Felipe**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Resabala Lara Verny Felipe, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

---

**Resabala Lara Verny Felipe**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mi familia, a mi esposa e hijo quienes han sido el pilar fundamental de mi desarrollo, gracias a su apoyo, paciencia y amor, hoy he logrado culminar un paso más en el largo camino de mi vida.

**Resabala Lara Verny Felipe**

## **AGRADECIMIENTO**

El más profundo agradecimiento a las personas que estuvieron a mi lado durante este trayecto lleno de desafíos. A todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica por las experiencias y conocimientos impartidos.

**Resabala Lara Verny Felipe**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	4
<b>2. MARCO REFERENCIAL</b>	
2.1 Energía solar.....	5
2.2 <i>Aplicaciones de la energía solar</i> .....	6
2.2.1 <i>Directa</i> .....	6
2.2.2 <i>Térmica</i> .....	6
2.2.3 <i>Fotovoltaica</i> .....	6
2.3 Radiación solar .....	6
2.3.1 <i>Tipos de radiación solar</i> .....	7
2.3.1.1 <i>Radiación directa</i> .....	8
2.3.1.2 <i>Radiación difusa</i> .....	8
2.3.1.3 <i>Radiación reflejada</i> .....	8
2.3.2 <i>Radiación solar en Ecuador</i> .....	8
2.4 Insolación sobre el planeta tierra.....	9
2.4.1 Cálculo de la insolación en cualquier sitio del planeta.....	10
2.5 Transferencia de calor.....	10
2.5.1 <i>Formas de transferencia de calor</i> .....	10
2.5.1.1 <i>Conducción</i> .....	10
2.5.1.2 <i>Convección</i> .....	11
2.5.1.3 <i>Radiación</i> .....	12
2.6 Cocina solar.....	13
2.6.1 <i>Tipos de cocinas solares</i> .....	14



2.6.1.1	<i>Cocinas por acumulación</i>	14
2.6.1.2	<i>Cocinas por concentración</i>	15
2.6.2	<i>Tiempos de cocción</i>	16
2.7	Materiales utilizados para la cocina solar	18
2.7.1	<i>Materiales reflectantes</i>	18
2.7.1.1	<i>Papel aluminio</i>	19
2.7.1.2	<i>Planchas de aluminio</i>	19
2.7.1.3	<i>Acero inoxidable</i>	20
2.7.2	<i>Materiales aislantes</i>	21
2.7.2.1	<i>Poliuretano</i>	21
2.7.2.2	<i>Corcho</i>	22
2.7.2.3	<i>Lana de vidrio</i>	22
2.7.3	<i>Materiales transparentes</i>	23
2.7.3.1	<i>Vidrio</i>	24
2.7.3.2	<i>Plástico</i>	24
2.7.4	<i>Material para la estructura base</i>	25
2.7.4.1	<i>Acero</i>	25
2.7.4.2	<i>Madera</i>	26
2.7.4.3	<i>Cemento</i>	26
2.8	Resistencia eléctrica	27
2.9	Fases del diseño	28
2.9.1	<i>Etapas del proceso de diseño</i>	29
2.9.1.1	<i>Definición del producto</i>	30
2.9.1.2	<i>Diseño conceptual</i>	31
2.9.1.3	<i>Diseño de materialización</i>	31
2.9.1.4	<i>Diseño del detalle</i>	31

### **3. DISEÑO DE LA COCINA SOLAR**

3.1	Determinación de las características de la cocina electro solar	32
-----	---	----

3.1.1	Desarrollo de la función de calidad QFD (Quality Function Deployment).....	32
3.1.1.1	<i>La voz del usuario</i> .....	33
3.1.1.2	<i>Cálculo de la muestra</i> .....	33
3.1.1.3	<i>Tabulación de encuestas</i> .....	34
3.1.1.4	<i>La voz del ingeniero</i> .....	37
3.1.1.5	<i>Resultados de la matriz QFD</i> .....	37
3.1.1.6	<i>Conclusiones de la matriz QFD</i> .....	39
3.1.1.7	<i>Especificaciones técnicas</i> .....	39
3.1.1.8	<i>Estructura funcional</i> .....	40
3.2	Definición de los módulos.....	41
3.2.1	<i>Soluciones para el módulo</i> .....	42
3.2.1.1	<i>Colocación</i> .....	42
3.2.1.2	<i>Adecuación</i> .....	43
3.2.1.3	<i>Encendido</i> .....	43
3.2.1.4	<i>Cocción</i> .....	44
3.3	Alternativa de los módulos.....	44
3.3.1	<i>Evaluación de soluciones</i> .....	45
3.3.1.1	<i>Método ordinal corregido de criterios ponderados</i> .....	45
3.3.2	<i>Criterios de valoración del módulo</i> .....	46
3.4	Características de la cocina solar.....	48
3.4.1	<i>Elementos de la cocina electro solar</i> .....	49
3.5	Diseño térmico de la cocina electro solar.....	49
3.5.1	<i>Recursos disponibles energéticos</i> .....	50
3.5.1.1	<i>Recurso solar disponible en la ciudad de Riobamba</i> .....	50
3.5.2	<i>Cálculo de la potencia solar</i> .....	51
3.5.3	Parámetros iniciales para el cálculo térmico.....	52
3.5.4	<i>Cálculos térmicos del diseño propuesto</i> .....	53
3.5.4.1	<i>Balance de energía en la cocina solar</i> .....	53
3.5.4.2	<i>Cálculo de la energía recibida por la cocina solar</i> .....	54

3.5.4.3	<i>Cálculo del rendimiento óptico en la cocina solar.....</i>	55
3.5.4.4	<i>Cálculo de las pérdidas térmicas en la cocina solar.....</i>	56
3.5.4.5	<i>Pérdidas térmicas a través de las paredes laterales .....</i>	56
3.5.4.6	<i>Resistencia térmica por convección coeficiente de transferencia .....</i>	59
3.5.4.7	<i>El cálculo del número de Grashof es: .....</i>	59
3.5.4.8	<i>La longitud característica es la división del área y el perímetro .....</i>	60
3.5.4.9	<i>Cálculo de Grashoff es efectúa mediante .....</i>	60
3.5.4.10	<i>Número de Nusselt usando la correlación de Churchill y Chu.....</i>	61
3.5.4.11	<i>Factor de convección se despeja de la siguiente ecuación.....</i>	61
3.5.4.12	<i>Resistencia térmica debido al reflector de aluminio .....</i>	61
3.5.4.13	<i>Resistencia térmica por convección - coeficiente de transferencia .....</i>	61
3.5.4.14	<i>Resistencia térmica debido al acero galvanizado interior .....</i>	63
3.5.4.15	<i>Resistencia térmica debido al aislante térmico (lana de vidrio).....</i>	63
3.5.4.16	<i>Resistencia térmica debido al acero galvanizado exterior.....</i>	63
3.5.4.17	<i>Resistencia térmica por convección debido al viento coeficiente de transferencia.....</i>	63
3.5.4.18	<i>Cálculo de Nusselt para superficies verticales .....</i>	64
3.5.4.19	<i>Transferencia de calor por convección entre el interior del horno y el interior de la cubierta de vidrio .....</i>	65
3.5.4.20	<i>Transferencia de calor por radiación entre la cubierta de vidrio y la superficie negra .....</i>	67
3.5.4.21	<i>Pérdidas de calor por convección desde la cubierta de vidrio hacia el ambiente .....</i>	68
3.5.4.22	<i>Cálculo de Reynolds .....</i>	69
3.5.4.23	<i>Pérdida de calor por convección .....</i>	70
3.5.4.24	<i>Calor útil generado por la cocina solar .....</i>	71
3.5.5	<i>Eficiencia térmica de la cocina electro solar.....</i>	71
3.5.6	<i>Cálculo del calor de radiación en superficies reales, generado por la cocina solar.....</i>	72

3.5.7	Calor total generado con la integración de la resistencia eléctrica.....	73
3.5.8	Cálculo de los paneles en la cocina electro solar .....	73
<b>4.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE LA COCINA ELECTRO SOLAR</b>	
4.1	Construcción de la cocina electro solar .....	77
4.2	Componentes de la cocina electro solar y la tecnología de su construcción.....	77
4.3	Procedimiento de construcción .....	79
4.3.1	Tiempos de construcción de la cocina electro solar. ....	79
4.3.2	<i>Flujograma de construcción</i> .....	81
4.4	Montaje de la cocina solar.....	82
4.5	Pruebas de la cocina electro solar .....	84
4.5.1	<i>Plan de pruebas de funcionamiento.</i> ....	84
4.5.1.1	<i>Pruebas en la mañana.</i> .....	84
4.5.1.2	<i>Pruebas a medio día.</i> .....	85
4.5.1.3	<i>Pruebas en la tarde.</i> .....	86
4.5.2	<i>Pruebas de la cocina con la resistencia</i> .....	86
4.5.3	<i>Verificación de los requerimientos</i> .....	87
4.5.3.1	<i>Verificación de los requerimientos deseados por el usuario (voz del usuario).</i> .....	87
4.5.3.2	<i>Verificación del criterio del ingeniero (voz del ingeniero)</i> .....	87
4.6	Análisis comparativo de la cocina electro solar propuesta con otros modelos diseñados. ....	88
4.7	Análisis energético entre cocinas de inducción, GLP y solar .....	89
<b>5.</b>	<b>MANUAL DE OPERACIONES, DE MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS DE LA COCINA ELECTRO SOLAR</b>	
5.1	Manual de operaciones .....	94
5.1.1	Vista general de la cocina electro solar.....	94
5.2	Características de la cocina electro solar .....	95
5.3	Instalación del equipo .....	95

5.4	Requisitos necesarios .....	95
5.5	Instrucciones de operación .....	96
5.5.1	<i>Inicio del proceso</i> .....	96
5.5.2	<i>Limpieza del equipo</i> .....	97
5.6	Manual de seguridad del equipo .....	97
5.7	Análisis de costos de la cocina electro solar .....	98
5.7.1	<i>Costos directos</i> .....	98
5.7.1.1	<i>Costos de materiales</i> .....	98
5.7.1.2	<i>Costos de mano de obra</i> .....	99
5.7.1.3	<i>Costos de equipos y herramientas</i> .....	99
5.7.1.4	<i>Costos de movilización</i> .....	100
5.7.1.5	<i>Costos totales directos</i> .....	100
5.7.2	<i>Costos indirectos</i> .....	100
5.7.3	<i>Costos totales</i> .....	101
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1	Conclusiones .....	102
6.2	Recomendaciones .....	102

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-3:</b> Tipo de cocina .....	34
<b>Tabla 2-3:</b> Preferencia de cocina ambientalmente amigable .....	35
<b>Tabla 3-3:</b> Características deseadas para la cocina .....	35
<b>Tabla 4-3:</b> Voz del ingeniero .....	37
<b>Tabla 5-3:</b> Resultados de la matriz QFD .....	39
<b>Tabla 6-3:</b> Evaluación del peso específico de cada criterio del módulo. ....	47
<b>Tabla 7-3:</b> Evaluación del peso específico del tipo de energía. ....	47
<b>Tabla 8-3:</b> Evaluación del peso específico de materiales resistentes. ....	47
<b>Tabla 9-3:</b> Evaluación del peso específico del sistema auxiliar. ....	47
<b>Tabla 10-3:</b> Evaluación del peso específico de manufactura.....	48
<b>Tabla 11-3:</b> Evaluación del peso específico del funcionamiento.....	48
<b>Tabla 12-3:</b> Pre diseño de la alternativa seleccionada.....	49
<b>Tabla 13-3:</b> Heliofonía media en Riobamba.....	51
<b>Tabla 14-3:</b> Áreas de las paredes de la cocina solar.....	57
<b>Tabla 15-3:</b> Conductividad térmica de los materiales.....	58
<b>Tabla 16-3:</b> Temperaturas cocina electro solar [°C] .....	58
<b>Tabla 17-3:</b> Propiedades a temperatura fílmica (114 °C).....	59
<b>Tabla 18-3:</b> Propiedades del aire a temperatura fílmica (80 °C) .....	62
<b>Tabla 19-3:</b> Propiedades del aire a temperatura fílmica (32,5 °C).....	63
<b>Tabla 20-3:</b> Propiedades a temperatura fílmica (81,5°C).....	66
<b>Tabla 21-3:</b> Propiedades a temperatura fílmica (72 °C).....	69
<b>Tabla 22-4:</b> Máquinas y herramientas .....	77
<b>Tabla 23-4:</b> Sistemas de la cocina electro solar .....	78
<b>Tabla 24-4:</b> Elementos y partes de la cocina electro solar. ....	79
<b>Tabla 25-4:</b> Tiempos de construcción de la cocina electro solar. ....	79
<b>Tabla 26-4:</b> Montaje de la cocina electro solar.....	82

<b>Tabla 27-4:</b> Tiempos de construcción y montaje .....	83
<b>Tabla 28-4:</b> Datos obtenido en la mañana .....	85
<b>Tabla 29-4:</b> Prueba a medio día .....	85
<b>Tabla 30-4:</b> Datos obtenidos en la tarde .....	86
<b>Tabla 31-4:</b> Datos obtenidos con la ayuda de la resistencia. ....	86
<b>Tabla 32-4:</b> Verificación de los requerimientos de usuario .....	87
<b>Tabla 33-4:</b> Verificación del criterio del ingeniero (voz del ingeniero).....	87
<b>Tabla 34-4:</b> Comparación de cocinas solares .....	88
<b>Tabla 35-4:</b> Tiempos de cocción de los tres mecanismos. ....	90
<b>Tabla 36-4:</b> Consumo Energético de los tres mecanismos. ....	90
<b>Tabla 37-4:</b> Costo energético de los tres mecanismos. ....	92
<b>Tabla 38-5:</b> Características de la cocina electro solar. ....	95
<b>Tabla 39-5:</b> Inicio de la cocción de los alimentos. ....	96
<b>Tabla 40-5:</b> Limpieza del equipo.....	97
<b>Tabla 41-5:</b> Lista de materiales y costos. ....	98
<b>Tabla 42-5:</b> Costo de la mano de obra.....	99
<b>Tabla 43-5:</b> Costo de herramientas y equipos.....	99
<b>Tabla 44-5:</b> Costos totales directos .....	100
<b>Tabla 45-5:</b> Costos indirectos .....	100
<b>Tabla 46-5:</b> Costos totales .....	101

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-2:</b> Efectos de la atmósfera sobre la irradiación.....	8
<b>Figura 2-2:</b> Conducción.....	11
<b>Figura 3-2:</b> Convección.....	12
<b>Figura 4-2:</b> Cocina solar.....	13
<b>Figura 5-2:</b> Cocina solar por acumulación.....	14
<b>Figura 6-2:</b> Orientación del cristal.....	15
<b>Figura 7-2:</b> Cocina solar por concentración.....	16
<b>Figura 8-2:</b> Factores que afectan directamente la velocidad de cocción.....	17
<b>Figura 9-2:</b> Tiempos de preparación para 4 libras.....	18
<b>Figura 10-2:</b> Papel aluminio.....	19
<b>Figura 11-2:</b> Planchas de aluminio.....	20
<b>Figura 12-2:</b> Acero inoxidable.....	20
<b>Figura 13-2:</b> Poliuretano.....	21
<b>Figura 14-2:</b> Corcho.....	22
<b>Figura 15-2:</b> Lana de vidrio.....	23
<b>Figura 16-2:</b> Acero.....	25
<b>Figura 17-2:</b> Madera.....	26
<b>Figura 18-2:</b> Cemento.....	27
<b>Figura 19-2:</b> Resistencia eléctrica.....	28
<b>Figura 20-2:</b> Ciclos básicos de los modelos de resolución de problemas.....	28
<b>Figura 21-2:</b> Fases del proceso de diseño.....	29
<b>Figura 22-2:</b> Esquema de la casa de calidad.....	30
<b>Figura 23-3:</b> Casa de la calidad.....	38
<b>Figura 24-3:</b> Análisis funcional- Nivel 1.....	40
<b>Figura 25-3:</b> Análisis funcional- Nivel 2.....	41
<b>Figura 26-3:</b> Alternativa de los módulos.....	45



<b>Figura 27-3:</b> Heliógrafo de la estación meteorológica de la ESPOCH.....	51
<b>Figura 28-3:</b> Caja tipo prismática triangular. ....	52
<b>Figura 29-3:</b> Esquema del balance energético .....	53
<b>Figura 30-3:</b> Esquema cocina solar.....	56
<b>Figura 31-3:</b> Circuito térmico en las paredes de la cocina solar.....	56
<b>Figura 32-3:</b> Vista superior de la cocina solar.....	57
<b>Figura 33-3:</b> Dimensiones de los angulos reflectores.....	74
<b>Figura 34-3:</b> Solsticio y cenit.....	75
<b>Figura 35-4:</b> Flujograma de construcción de la cocina solar.....	81
<b>Figura 36-4:</b> Cocina electro solar.....	82
<b>Figura 37-4:</b> Flujograma del montaje de la cocina electro solar .....	83
<b>Figura 38-4:</b> Medidor de temperatura .....	84
<b>Figura 39-5:</b> Cocina electro solar.....	94

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
<b>Gráfica 1-2:</b> Espectro solar .....	7
<b>Gráfica 2-2:</b> Mapa de insolación solar del Ecuador.....	9
<b>Gráfica 3-3:</b> Tipo de cocina .....	34
<b>Gráfica 4-3:</b> Preferencia de cocina ambientalmente amigable .....	35
<b>Gráfica 5-3:</b> Características de la cocina .....	36
<b>Gráfica 6-3:</b> Factor de visión entre dos rectángulos paralelos alineados de igual tamaño .....	68
<b>Gráfica 7-4:</b> Comparación entre cocinas solares .....	89
<b>Gráfica 8-4:</b> Consumo energético .....	90
<b>Gráfica 9-4:</b> Tiempos de cocción.....	91
<b>Gráfica 10-4:</b> Eficiencia de las cocinas .....	92

## SIMBOLOGÍA

$Q$	Calor conducido a través de un área	kJ/min
$k$	Conductividad térmica del material	W/m <sup>°K</sup>
$A$	Área de transferencia de calor	m <sup>2</sup>
$h$	Coefficiente de transferencia de calor por convección	W/m <sup>2</sup> °C
$T_s$	Temperatura de la superficie	°C
$T_m$	Temperatura de fluido suficientemente lejos de la superficie	°C
$\sigma$	Constante de Stefan Boltzman	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
$I$	Irradiación solar	W/m <sup>2</sup>
$T_i$	Temperatura inicial	°K
$V$	Volumen	m <sup>3</sup>
$\rho$	Densidad	Kg/m <sup>3</sup>
$C_p$	Calor específico	J/kg °K
$m$	Masa	kg
$T_c$	Tiempo de cocción	s
$T_f$	Temperatura de ebullición	°K
$P$	Potencia	W
$P_s$	Potencia estándar	W
$a, b, c, h$	Dimensiones del horno tipo caja	m
$A_{id}$	Área de irradiación directa	m <sup>2</sup>
$\alpha_s$	Absortividad solar	[adimensional]
$\varepsilon$	Emisividad	[adimensional]
$n_p$	Número de paneles	[adimensional]

A <sub>ex</sub>	Área de las secciones extra	m <sup>2</sup>
e <sub>f</sub>	Efectividad	[adimensional]
TC	Transferencia de calor	
T <sub>ex</sub>	Temperatura externa	°K
T <sub>int</sub>	Temperatura interna	°K
R	Resistencia térmica	°K/W
A <sub>t</sub>	Área total	m <sup>2</sup>
A <sub>tTC</sub>	Área total de transferencia de calor	m <sup>2</sup>
e	Espesor	mm
Q <sub>1</sub>	Pérdida de calor estacionaria	W
Q <sub>p</sub>	Pérdida total de calor	W
Q <sub>e</sub>	Potencia de entrada	W
Q <sub>n</sub>	Potencia neta en el horno solar	W
P <sub>s</sub>	Potencia necesaria para la cocción	W
I <sub>min</sub>	Irradiación mínima	W/m <sup>2</sup>

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>CC</b>	Corriente continua
<b>ASTM</b>	Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales.
<b>CAD</b>	Dibujo asistido por computadora
<b>QFD</b>	Quality Function Deployment
<b>UV</b>	Ultra violeta
<b>ABS</b>	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
<b>OPEP</b>	Organización de Países Exportadores de Petróleo
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>CENSOLAR</b>	Centro de Estudios de la Energía Solar
<b>GLP</b>	Gas Licuado de Petróleo
<b>CONELC</b>	Consejo Nacional de Electricidad
<b>TC</b>	Transferencia de Calor
<b>USD</b>	United States Dólar

## **LISTA DE ANEXOS**

- A      Formato de encuesta
- B      Reflectividad del aluminio
- C      Absortividad de la superficie negra
- D      Transmisividad del vidrio
- E      Conductividad del acero galvanizado
- F      Heliofonía media en Riobamba
- G      Resistencia eléctrica

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar y construir una cocina electro solar como alternativa para la cocción de alimentos. La cocina electro solar posee una estructura tipo caja rectangular prismática, conformada por acero A36 en su base, por lana de vidrio en su interior y paneles de aluminio ASTM A 1100 que sirven de reflectores para captar mayor radiación. El interior está cubierto por planchas metálicas negras, que cumplen con la función de absorción de radiación y su cubierta es de vidrio templado que permite el paso de energía térmica y evita la disipación de la ganancia por convección. Consta de un sistema auxiliar de cocción formado por una resistencia eléctrica de una potencia de 1000W empleada cuando existan bajos niveles de radiación. Mediante el método analítico-sintético se procesa la información recopilada identificando técnicas y materiales de transferencia de calor para el uso de la energía solar, por el cual se propone un diseño combinado entre acumulación y concentración de energía. Para el diseño de concepto se usa el método de diseño integrado para la determinación de energía útil. Para el cálculo de la insolación en la ciudad de Riobamba se tomaron registros estadísticos de los últimos cuatro años elaborados por la estación Meteorológica de la ESPOCH. Para la evaluación del sistema de cocción se emplea el método experimental. La cocina electro solar eleva la temperatura en el interior hasta los 113°C aproximadamente cuando se tiene el mayor índice de radiación y 123 °C cuando entra en funcionamiento el sistema eléctrico, temperaturas aptas para la cocción de los alimentos. Se recomienda en posteriores investigaciones rediseñar el área de transferencia de calor, así como el cambio de materiales reflectores por acero inoxidable ASTM A240/480 para mejorar el rendimiento y funcionamiento del equipo.

**PALABRAS CLAVES:** <ENERGÍAS ALTERNATIVAS>, <COCINA ELECTRO SOLAR>, <ACUMULACIÓN DE ENERGÍA>, <CONDUCCIÓN>, <CONVECCIÓN>, <RADIACIÓN>.

## **ABSTRACT**

This work aims at designing and building an electro solar cooker as an alternative to cooking food. The electro solar cooker has a box-type structure, rectangular, prismatic made up of steel on its base, glass wool internally and aluminum panels ASTM A 1100 which are used of reflectors to capture higher radiation. Its inside is covered by black metallic plates, performing the function of radiation absorption and its cover is of tempered glass which enables the heat energy passage and avoids heat gain dissipation by convection. It consists of an auxiliary cooking system made up of an electrical resistance with a power of 1000W used when there would be low radiation levels. The information is processed through the analytical synthetic method identifying techniques and materials of the heat transfer for the use of solar energy by which, it is proposed a combined design of energy accumulation and concentration. The integrated design method is used for the concept design to determine the useful energy. The statistical records of Riobamba city in the last four years developed by the meteorological station of ESPOCH were taken for the calculation of sunlight. The experimental method is implemented for the evaluation of the cooking system. The electro solar cooker raises the temperature inside to 113°C approximately when there is the highest solar radiation index and 123°C when the electrical system starts working, suitable temperatures for cooking food. It is recommended in later investigations redesign the heat transfer area, as well as the change of reflective materials by stainless steel ASTM A240/480 to improve the performance and operation of the equipment.

**KEY WORDS:** <SUSTAINABLE ENERGY>, <ELECTRO SOLAR COOKER>, <ENERGY STORAGE>, <INDUCTION>, <CONVECTION>, <RADIATION>.



## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Antecedentes**

La evolución humana y el uso excesivo de los recursos energéticos no renovables ha permitido que el ser humano dependa principalmente del petróleo así como sus derivados, según datos de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) muestra un consumo de 92,70 millones de barriles de petróleo diarios a un alto costo, llevando a la par una enorme repercusión al medio ambiente, con altos niveles de contaminación que afectan a la biodiversidad, que según la Organización Mundial de la Salud (OMS) reflejan un comportamiento creciente elevado, generando una preocupación ante el ambiente, por lo que en los últimos años se ha ido optando por energías alternativas como; energía solar, hidráulica, y eólica, provenientes de recursos renovables.

Según el artículo “Perspectiva Ambiental 25” el Sol es la fuente básica de energía de la biosfera, la fuerza motriz gracias a la cual la vida existe, es una gran estrella con un radio de 696.000 km, es decir, más de 100 veces el radio de nuestro planeta. Tiene una temperatura superficial de 5.300 °C y, a pesar de estar situado a una distancia de 149.600.000 km, nos envía unos 136,8 MW cm<sup>-2</sup> al nivel externo de la atmósfera, valor que se conoce por la constante solar (SENSAT, 2012, pág. 34).

En varios estudios realizados por el Centro de Estudios de la Energía Solar (CENSOLAR) a cerca de uso de energías renovables, se ha desarrollado investigaciones con la energía solar que es una fuente ilimitada de energía y totalmente amigable con el ambiente. El uso de tecnologías que combinan la energía del sol y la eficiencia energética, entre ellas la cocina solar, ayudan en parte al desarrollo de la población mundial, de mayor manera a las personas de bajos recursos económicos.

La primera cocina solar fue desarrollada en 1767 por Horace de Saussure, la cual logro alcanzar una temperatura máxima de 88° C y de acuerdo a sus escritos, cuando se le agregó una superficie negra en el interior de la caja, alcanzó los 160° C. (COSTAS, 2011, pág. 20)

América Latina no se queda atrás ya que se registran considerables avances tecnológicos en esta área, como propuesta alternativa para ahorrar energía y reducir la problemática ambiental causada por el uso de recursos no renovables, presentándose grandes aportes en el diseño de modelos para hornos solares, esto inspiró a muchos investigadores en todo el mundo. (CASTRO, 2014, pág. 30)

En nuestro país, se han realizado distintos proyectos para la explotación de este infinito recurso, como lo es la energía solar, para obtener fuentes de energía alternativas y limpias. Según el informe de Balance Nacional de Energía, elaborado por la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad de este país en el 2016, la oferta de energía eléctrica, determinada por su potencia nominal generada por fuentes renovables, la constituían: hidroelectricidad 49,82 %; biomasa 1,96 %; fotovoltaica 0,36 %; eólico 0,29 %; biogás y el 57,54 % corresponde a fuentes no renovables. Los sistemas fotovoltaicos producen energía eléctrica con la base de los rayos solares. Esta energía puede ser utilizada de forma directa o puede ser acumulada en baterías para su uso nocturno o durante 24 horas. La ubicación geográfica con la que cuenta Ecuador, proporciona una gran ventaja ya que los niveles de radiación pueden alcanzar valores de 2000-3000 Watt/m<sup>2</sup> promedio en un año, siendo Chimborazo, Pichincha, Imbabura, Loja, Esmeraldas, Cañar, Guayas y Galápagos, posibles sitios de desarrollo e implementación de proyectos tecnológicos por su mayor índice de radiación solar. (CONELEC, 2008, pág. 18)

Motivos por los que hoy en día en nuestro país existen investigaciones y propuestas de cocinas solares, sin embargo, varias de estas ideas no se han materializado y mucho menos se ha considerado como un producto de cocción para comercializar, debido a la creciente dependencia de energía que existe para cocinar con GLP, que se ha convertido en una amenaza latente en el entorno, por el uso indiscriminado de los recursos naturales que causan contaminación.

## **1.2 Justificación**

La Constitución de la República del Ecuador 2008, en su sección séptima, Art. 413 manifiesta que “El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.”

A nivel nacional es necesario impulsar el desarrollo tecnológico con el uso de energías limpias para minimizar los impactos ambientales con la reducción del consumo de energías no renovables, siendo una de las principales la cocina solar, teniendo como finalidad, economizar el consumo de Gas Licuado de Petróleo (GLP) mas no reemplazarlo, así como también la energía eléctrica que se constituye como el principal recurso de las cocinas de inducción, todo con la única finalidad de generar un ahorro económico a las familias ecuatorianas.

Esta cocina podrá utilizarse como una forma de ayuda para familias que deseen una alternativa limpia y gratuita para la cocción de sus alimentos básicos, o incluso aquellas que adolecen del escaso abastecimiento de gas doméstico.

Este trabajo proyecta el diseño y construcción de una cocina solar capaz de cocer alimentos, la cual tendrá un dispositivo de emergencia para la cocción de los alimentos mediante el uso de una resistencia eléctrica, que servirá como un soporte en casos en los que se presenten eventos adversos del clima que alteren la normal operación del mismo. La finalidad de este proyecto es beneficiar al medio ambiente, reduciendo el consumo de energías no renovables y permitir que las personas opten por la cocina solar como una alternativa ecológica de cocción para sus alimentos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 *Objetivo general***

Diseñar y construir una cocina electro solar.

### **1.3.2      *Objetivos específicos***

Analizar los principios básicos del diseño de cocinas solares.

Proponer la metodología del diseño de la cocina electro solar.

Realizar el diseño de un sistema alternativo complementario de energía limpia para la cocción de alimentos.

Fabricar y evaluar el diseño propuesto, con un análisis energético de cocinas de GLP, inducción y electro solar.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO REFERENCIAL**

En este capítulo se investiga los fundamentos que intervienen en la fabricación de cocinas solares, estudiando los principios básicos de transferencia de calor y termodinámica, abordando el potencial energético que se puede emplear a partir de la radiación solar y su mecanismo de interacción entre los diferentes procesos termodinámicos para así seleccionar los materiales con las mejores características, con los cuales se obtenga el mayor rendimiento.

Se analiza la interacción de los alimentos con el calor, estudiando parámetros como la temperatura y tiempos promedios que estos necesitan para su correcta cocción y no degradación de sus propiedades.

#### **2.1 Energía solar**

La energía que proviene del sol, es una fuente de energía renovable y limpia, obtenida a partir de la utilización de la radiación electromagnética proveniente del Sol. (CASTRO, 2014, pág. 14)

La energía solar es el elemento fundamental para sostener la vida en el planeta Tierra. Esta energía tiene un alto potencial debido al elevado poder calorífico y radiación que posee. Dicha fuente de energía puede ser usada de forma confiable ya que es amigable con el ambiente y de origen renovable, que no causa contaminación y que es ilimitada.

La energía solar absorbida por el planeta Tierra en un año es equivalente a 20 veces la energía acumulada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y 10 mil veces superior al consumo actual. (ROCA, 2011, pág. 24)

## **2.2 Aplicaciones de la energía solar**

La energía solar es un recurso renovable, constituido simplemente por la luz que emite el sol siendo interceptada por la Tierra, la cual se puede disponer una gran infinidad de necesidades. (BENAVIDES, 2016, pág. 26), en su trabajo de titulación, menciona las siguientes aplicaciones:

### **2.2.1 Directa**

Para el secado de ropa, iluminación de campos abiertos y secado de algunos productos en procesos de producción como cacao, maíz. etc.

### **2.2.2 Térmica**

Por medio del calentamiento de algún medio o conductor. La climatización de viviendas, para calefacción, refrigeración, secado de frutos o semillas, etc.

### **2.2.3 Fotovoltaica**

Es aprovechada mediante celdas fotoeléctricas, que pueden convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico.

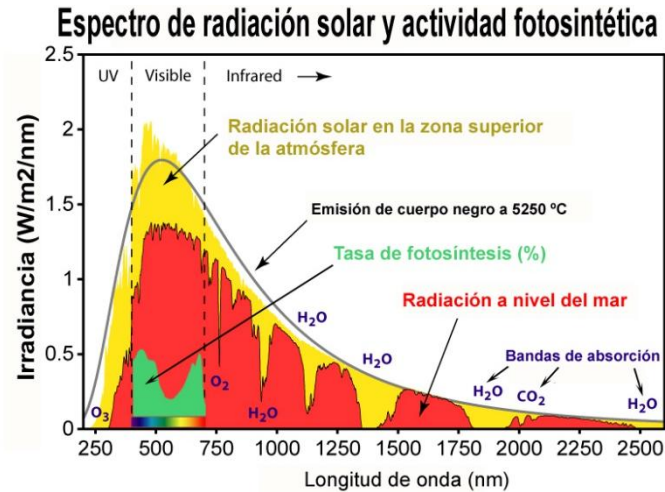
## **2.3 Radiación solar**

Esa aquella magnitud que mide la radiación que proviene del sol hacia la Tierra por unidad de tiempo y área, cuya unidad es  $[W/m^2]$ . Se genera en las reacciones de fusión nuclear producidas en su interior, donde la temperatura estimada en el núcleo es del orden de 10 a 15 millones de grados Kelvin. Esta energía se absorbe y transmite a través de las diversas capas solares y finalmente se emite en la cromosfera en forma de radiación electromagnética y viento solar (partículas cargadas). Su espectro es equivalente al que emitiría un cuerpo negro a 5.900 grados Kelvin (temperatura de la fotosfera). (URKIOLA, 2005, pág. 11).

En la gráfica 1 se observa como la atmosfera cuela cierta parte de la radiación solar que toca a la parte de arriba de la atmósfera del planeta Tierra (amarillo). A pesar del filtro

que existe, la luz visible es el fragmento más primordial de la radiación que llega a la superficie de la Tierra (Rojo). (MCMANUS, 2011, pág. 54)

Gráfica 1-2: Espectro solar



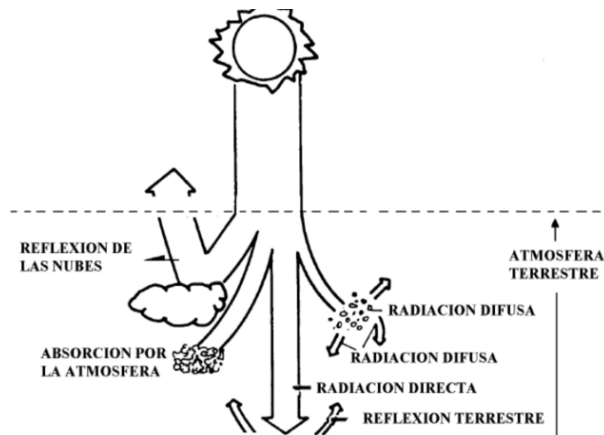
Fuente: (MCMANUS, 2011, pág. 26)

La energía solar antes de llegar a la superficie del planeta debe atravesar la atmósfera, en el transcurso se ve afectada en su dirección y densidad por la interacción de la radiación con la materia. La dirección con la cual incide la radiación solar directa no sola depende de la localización geográfica y de la orientación del dispositivo solar, sino también de la época del año.

### 2.3.1 Tipos de radiación solar

La atmósfera terrestre la cual se mantiene alrededor de ella por la acción de la fuerza gravitacional, existen varios tipos de radiación, en la figura 1 se muestra esquemáticamente los diferentes procesos que ocurren.

Figura 1-2: Efectos de la atmósfera sobre la irradiación



Fuente: (BENAVIDES, 2016, pág. 32)

A continuación, se muestra los tipos de radiación existentes:

#### 2.3.1.1 *Radiación directa*

Es aquella que proviene de forma directa del sol, sin desviarse en su paso a través de la atmósfera.

#### 2.3.1.2 *Radiación difusa*

Es aquella que se produce al atravesar la atmósfera de la Tierra y sufre un cambio en su dirección. Este desvío se origina por el choque directo que existe entre ciertas moléculas y partículas existentes en el aire, motivo por el cual los rayos solares no tienen una dirección directa.

#### 2.3.1.3 *Radiación reflejada*

Es la radiación reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de cada superficie.

### 2.3.2 *Radiación solar en Ecuador*

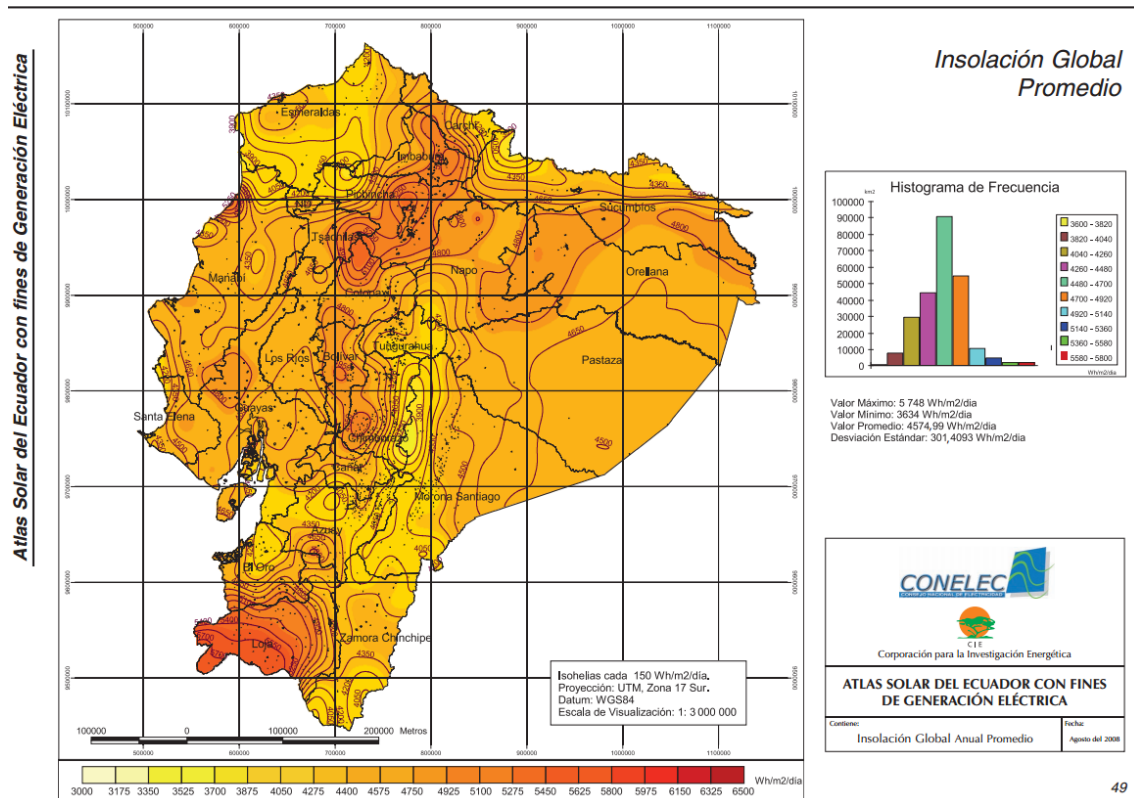
El Ecuador es un país con características topográficas muy variadas, de gran diversidad climática y condiciones únicas que le confieren un elevado potencial de energías renovables y limpias, las cuales no pueden quedar al margen del inventario de los



recursos energéticos, pues las condiciones de cobertura y satisfacción de la demanda que se presentan en la actualidad, demuestran un estrecho vínculo especialmente con la electrificación y energización rural. (CONELEC, 2008, pág. 19)

Mediante la investigación hecha por CONELEC muestran mapas tomados durante los 12 meses del año, en el cual se ha determinado las radiaciones, directa, difusa y global, así como el promedio anual. En la siguiente gráfica se observa la insolación global promedio de cada región del país, notándose que el color rojo intenso indica las regiones con mayor índice de Insolación Global y las regiones marcadas de amarillo son las regiones con un bajo índice de Insolación, datos que nos ayudara en el proceso de diseño de la cocina electro solar.

Gráfica 2-2: Mapa de insolación solar del Ecuador



Fuente: (CONELEC, 2008, pág. 24)

## 2.4 Insolación sobre el planeta tierra

La Tierra gira alrededor del Sol y a la vez sobre sí misma en un período de 24 horas, es decir, la mitad del tiempo una cara del planeta recibe la luz del Sol y la otra se mantiene a oscuras. Sin embargo, la cantidad de luz y el número de horas que recibe la superficie

de la Tierra depende de la inclinación del eje del planeta, que es de unos 23,5 °. Así, pues, la inclinación de la Tierra y el período de rotación del planeta definen los tiempos de luz y de oscuridad. Por eso, la insolación depende de la latitud de cada punto del planeta. (ROCA, 2011, pág. 28)

#### **2.4.1 *Cálculo de la insolación en cualquier sitio del planeta***

La ecuación expuesta por Glover y Mc Culloch, permite obtener la irradiación solar en cualquier posición geográfica de la tierra, en función de la heliofonía promedio del lugar y altitud geográfica. (PORTALANZA , 2009, pág. 37)

$$I = G_o \left[ 0,29 \cos \varnothing + 0,52 \frac{n}{N} \right] \quad (1)$$

### **2.5 *Transferencia de calor***

La transferencia de calor trata sobre los estados fuera de equilibrio, por medio de esta se calculan áreas, tiempos, y flujos de calor transferidos, asociados a la diferencia de temperatura entre cuerpos (falta de equilibrio térmico). (YUNUS, 2011, pág. 4)

#### **2.5.1 *Formas de transferencia de calor***

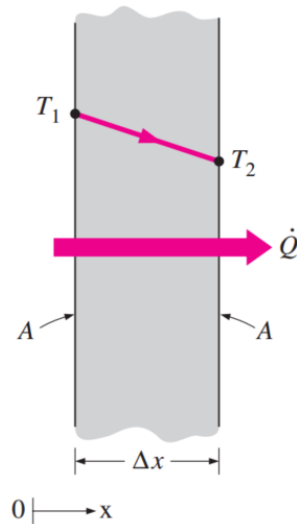
El calor es una forma de energía la cual fluye debido a una diferencia de temperatura desde un punto mayor hacia uno de menor temperatura. El calor, o energía térmica, puede transmitirse de tres formas; conducción, convección y radiación.

##### **2.5.1.1 *Conducción***

La conducción es la interacción de las partículas de dos cuerpos que se encuentran en contacto directo, de este modo se transfiere energía de un cuerpo a otro. La conducción depende netamente de la forma geométrica, del material y del calor de los cuerpos que se encuentran en contacto, de este modo se determina la razón de conducción para saber la rapidez en la cual la transferencia de calor se completa.

En la figura 2 se observa una representación esquemática de la conducción del calor en estado estacionario a través de una pared plana de espesor  $\Delta x$  y de área  $A$ .

Figura 2-2: Conducción



Fuente: (YUNUS, 2011, pág. 18)

La conductividad térmica está dada por la Ley de Fourier de la conducción del calor:

$$Q_{cond.} = kA \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

Donde:

$Q_{cond.}$ : Calor conducido a través de un área  $A$  [W]

$dT$ : Variación de temperatura [°K]

$dx$ : Espesor de pared [m]

$k$ : Conductividad térmica del material [W/m°K]

$A$ : Área en contacto [m<sup>2</sup>]

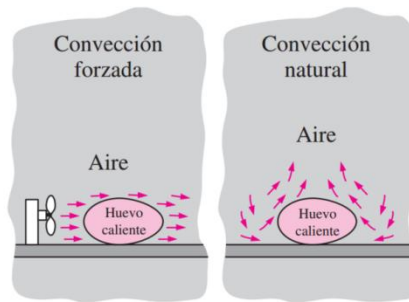
$\frac{dT}{dx}$ : Gradiente de temperatura a través de la trayectoria [°K/m]

### 2.5.1.2 Convección

Es el intercambio de energía térmica entre un sólido y un fluido (líquido o gaseoso) que está en contacto, donde la temperatura del sólido y del fluido es distinta. La convección

depende de la velocidad del fluido, si el fluido es obligado a moverse por un ventilador o una bomba el proceso se llama de convección forzada. Pero si la sustancia se mueve a causa de diferencias de densidad, se habla de un fenómeno de convección natural. En la figura 3 se observa esquemáticamente el enfriamiento de huevo cocido por convección forzada y convección natural.

Figura 3-2: Convección



Fuente: (YUNUS, 2011, pág. 26)

Para expresar el efecto total de la convección, se utiliza la ley de enfriamiento de Newton, aquí la rapidez de transferencia de calor está relacionada con la diferencia de temperatura total entre la pared, el fluido y el área de la superficie A.

$$Q_{conv.} = h * A * (T_s - T_m) \quad (3)$$

Donde:

$Q_{conv.}$ : Calor conducido a través de un área A [W]

$h$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección [ $W/m^2 \cdot ^\circ K$ ]

$A$ : Área en contacto [ $m^2$ ]

$T_s$ : Temperatura de la superficie [ $^\circ K$ ]

$T_m$ : Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie [ $^\circ K$ ]

### 2.5.1.3 Radiación

Es el proceso físico mediante el cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas que recorren a la velocidad de la luz y no requieren ningún medio para propagarse. El tipo de radiación electromagnética que resulta pertinente para la transferencia de calor es la radiación térmica emitida como resultado de las transiciones

energéticas de las moléculas, los átomos y los electrones de una sustancia. (YUNUS, 2011, pág. 29)

El flujo de energía emitida por este mecanismo depende de la temperatura del cuerpo, la cual viene expresada mediante la ley de Stefan-Boltzmann:

$$Q_{rad.} = \varepsilon * \sigma * A * (T_1^4 - T_2^4) \quad (4)$$

Donde:

$Q_{rad.}$ : Calor conducido a través de un área A [W]

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzmann  $5,6699 \times 10^{-8}$  [W/m<sup>2</sup>°K<sup>4</sup>]

A: Área de transferencia de calor [m<sup>2</sup>]

$T_1$ : Temperatura absoluta del cuerpo 1 [°K]

$T_2$ : Temperatura absoluta del cuerpo 2 [°K]

$\varepsilon$ : Emisivilidad de la superficie, cuyo valor esta entre 0-1 dependiendo de los materiales

## 2.6 Cocina solar

Es un equipo que posee la capacidad de cocinar alimentos usando la energía Solar.

Figura 4-2: Cocina solar



Fuente: (ROCA, 2011, pág. 38)

La potencia que nos brinda los rayos solares por exposición directa no es suficiente para la cocción, es por ello que se utiliza equipos diseñados y adecuados para aumentar la densidad energética solar que recibe el alimento. (URKIOLA, 2005, pág. 37)

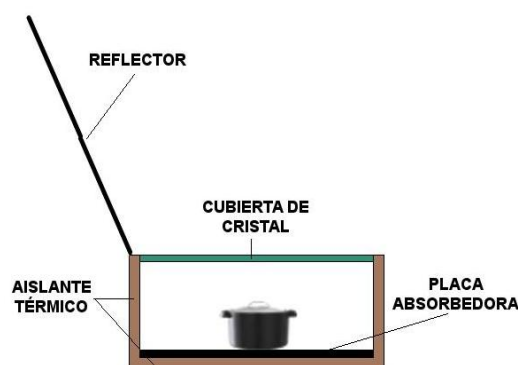
## 2.6.1 Tipos de cocinas solares

Existen varias formas para aprovechar la radiación solar y convertirla en calor útil para cocinar. En función de los principios de funcionamiento de las cocinas solares las hay de dos tipos: las de acumulación y las de concentración.

### 2.6.1.1 Cocinas por acumulación

Son cocinas de tipo cajón, compuestas por materiales reflectantes, aislantes y una cubierta transparente. Producen calor en espacios cerrados, esto ocurre cuando el sol incide a través del material transparente como el vidrio, plástico o cristal. La luz visible pasa sin problemas a través del material transparente y es absorbida y reflejada por los materiales que se encuentran en el espacio cerrado. La energía de la luz que es absorbida por recipientes oscuros y la plancha negra debajo de los recipientes se convierte en energía calorífica que irradia desde el interior de los materiales. La mayor parte de esta energía radiante, no puede atravesar el material transparente y por consiguiente es apresada en el interior del espacio cerrado. Atrapan la energía solar a través del efecto invernadero y hacen de horno. En éstas, las temperaturas de trabajo se sitúan entre los 80 y los 160 °C. (SCI, 2004). En la figura 5 se observa una cocina solar de tipo acumulación.

Figura 5-2: Cocina solar por acumulación



Fuente: Autor

La acumulación de la energía en los hornos solares se logra a través de dos formas simultáneamente:

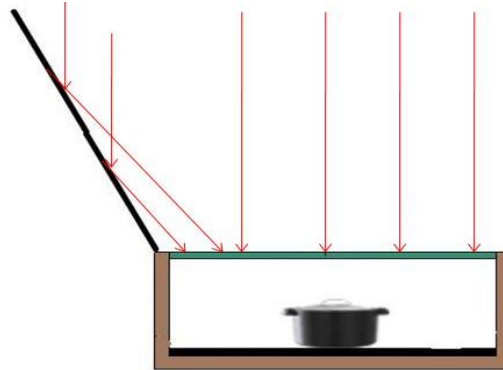
Utilizando materiales conductores y absorbentes de color negro mate. Los materiales absorberán la radiación y la parte que emite será en longitud de onda grande, de forma que no atraviesen el vidrio. Estos materiales se usarán en el recipiente que contiene la comida y en una lámina en el fondo, elevada ligeramente del suelo. De esta manera se calienta el aire del interior del horno. (URKIOLA, 2005, pág. 24)

Aislando los laterales y el fondo de la caja se reducen las pérdidas de calor acumulado. Para evitar las pérdidas por conducción y convección se coloca materiales aislantes como el corcho, fibra de vidrio, papel de periódico o fibra de coco.

#### 2.6.1.1.1 Reflectores para la ganancia adicional de calor

Uno o múltiples reflectores hacen rebotar una luz solar adicional a través del cristal y dentro de la caja solar con el fin de aumentar la temperatura de cocción como se observa en la figura 6. Esta mayor entrada de energía solar produce temperaturas más altas en la cocina. (COSTAS, 2011, pág. 42)

Figura 6-2: Orientación del cristal.



Fuente: Autor

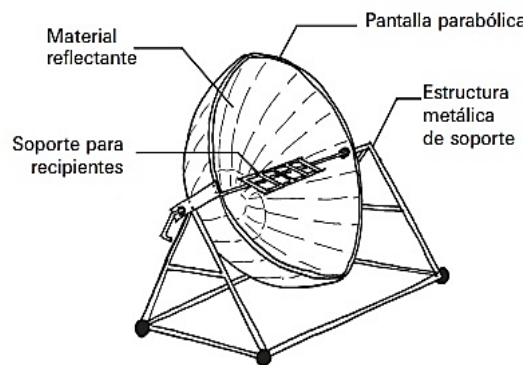
#### 2.6.1.2 Cocinas por concentración

Estas usan técnicas de concentración de la radiación solar en un punto focal, para incrementar la temperatura y así generar cocción de alimentos y evaporación de fluidos. Utilizadas para aplicaciones industriales que buscan aprovechar la energía solar recibida.

Para este tipo de cocinas solares se puede usar una parábola con algún material reflejante que permita re direccionar todos los rayos del sol que incidan sobre ésta y mandarlos hacia el punto llamado foco, punto en que se tiene una mayor cantidad de energía. Puede usarse para este principio conos e incluso reflectores planos con la finalidad de facilitar la construcción o reducir costos.

En la figura 7 se puede observar el tipo de cocina solar de concentración.

Figura 7-2: Cocina solar por concentración



Fuente: (MCMANUS, 2011, pág. 36)













Este tipo de cocinas solares necesitan periódicamente cambios frecuentes de su posición y supervisión para así lograr funcionar con mayor seguridad.

### 2.6.2 *Tiempos de cocción*

Existen diversos factores que alteran la velocidad de cocción de alimentos en una cocina solar, incluyendo la época del año en el que se encuentre, los niveles de radiación solar, el modelo de recipiente y la cantidad de alimentos a preparar. En la figura 8 se indica varios de los factores con mayor importancia.



Figura 8-2: Factores que afectan directamente la velocidad de cocción

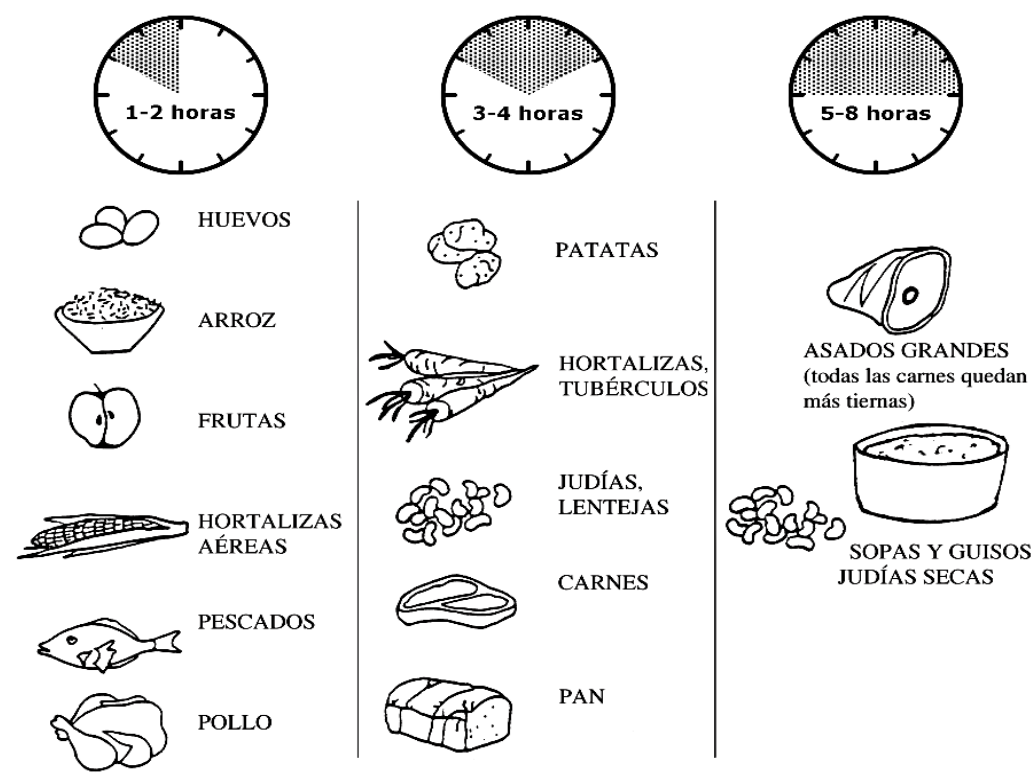
	<b>Cocinado rápido</b>	<b>Cocinado lento</b>
<b>Época del año y hora del día:</b>		
<b>Nivel de radiación solar:</b>		
<b>Velocidad del viento:</b>		
<b>Grosor del recipiente:</b>		
<b>Cantidad y tamaño de la comida:</b>		
<b>Cantidad de agua:</b>		

Fuente: (SCI, 2004)

Una cocina solar, en un escenario normal de sol, podría alcanzar temperaturas entre 82-121°C. Ahora puesto que los alimentos suelen coserse a 65-91°C, estas temperaturas son lo suficientemente altas como para cocinar completamente los alimentos, pero no tanto como para quemarlos o dañar los nutrientes. (SCI, 2004)

Según la publicación dada por Solar Cookers International muestra los tiempos de preparación para 4 libras de comida en un día soleado la cual se observa en la figura 9.

Figura 9-2: Tiempos de preparación para 4 libras



Fuente: (SCI, 2004)

## 2.7 Materiales utilizados para la cocina solar

Existen cuatro clases de materiales que se utilizan característicamente en el proceso de construcción de las cocinas solares.

- Materiales refractantes
- Materiales aislantes
- Materiales transparentes
- Material para la estructura base

### 2.7.1 *Materiales reflectantes*

La principal característica que deben tener los materiales refractantes, es su uniformidad, debido a que si la superficie es rugosa habrá ondas incidentes, las mismas que serán reflejadas en distintas direcciones y no podrá ser precisada su trayectoria, por lo tanto, la mayor parte de la energía se desperdiciaría. Debido a ello, los materiales más idóneos para la construcción de la cocina electro solar serían:

### 2.7.1.1 *Papel aluminio*

Conocido también como papel de plata. Un material económico, fácil adquisición, maleable y que soporta altas temperatura, es el más común en la fabricación de cocinas solares especialmente por tener 90% de reflexión de ondas que inciden sobre el material.

Figura 10-2: Papel aluminio



Fuente: (SUR, 2015)

#### Ventajas:

- Económico
- Fácil adquisición
- Maleable
- Soporta altas temperaturas
- Alta reflexión

#### Desventajas:

- Fragilidad
- Susceptible a deformaciones
- No uniforme

### 2.7.1.2 *Planchas de aluminio*

Comparando el aluminio en plancha con el papel de aluminio, este tiene mejores características mecánicas como: resistencia a la flexión, tiene un límite de resistencia en tracción de 160-200 N/mm<sup>2</sup>. Se lo ocupa principalmente para la fabricación de cableado eléctrico y láminas de bajo espesor. (VIDAL, 2013, pág. 21)

Figura 11-2: Planchas de aluminio



Fuente: (VIDAL, 2013, pág. 21)

**Ventajas:**

- Fácil adquisición
- Soporta altas temperaturas
- Alta reflectividad

**Desventajas:**

- Mediana maleabilidad
- Medio costo

**2.7.1.3 Acero inoxidable**

Aleación de hierro con pequeñas cantidades de carbono y que adquiere con el temple gran dureza y elasticidad

Figura 12-2: Acero inoxidable



Fuente: (DIRECT, 2015)

**Ventajas:**

- Son fáciles de limpiar

- Resistente a la corrosión
- Resistente a altas temperaturas
- Altas propiedades mecánicas

Desventajas:

- Mediana reflectividad
- Baja maleabilidad
- Medio Costo

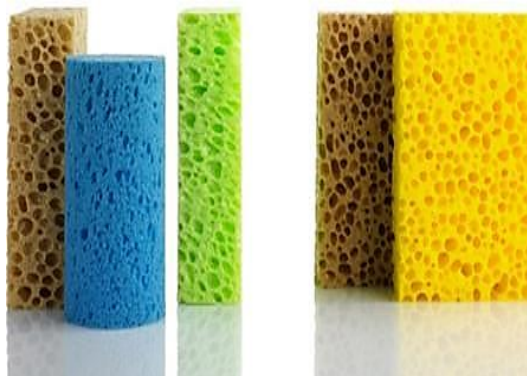
## 2.7.2 *Materiales aislantes*

Son aquellos materiales que poseen una conductividad térmica baja, es decir no permiten el paso de calor fácilmente. Se usan para contener el calor y para evitar pérdidas de energía. La selección del material aislante deberá basarse en su costo inicial, su eficacia y su durabilidad. Los aislantes más conocidos son:

### 2.7.2.1 *Poliuretano*

Es un aislante que posee buenas propiedades termoaislantes, una baja permeabilidad al vapor de agua, una alta resistencia a la absorción de agua, una resistencia mecánica relativamente alta y una baja densidad.

Figura 13-2: Poliuretano



Fuente: (BARÓN, 2011, pág. 3)

Ventajas:

- Muy buena resistencia térmica
- Puede usarse con resinas de fibra de vidrio

- Baja permeabilidad al vapor de agua
- Baja densidad

Desventajas:

- No siempre es fácil de obtener
- Relativamente costoso

### 2.7.2.2 Corcho

El corcho es un aislante natural que, gracias a las células de aire capturadas en su interior, permite un gran aislamiento térmico y acústico.

Figura 14-2: Corcho



Fuente: (SUR, 2015)

Ventajas:

- Disponible en muchos mercados
- Puede recubrirse con fibra de vidrio

Desventajas:

- Conductividad menor que la del poliuretano
- Precio es relativamente alto
- Tendencia a absorber humedad

### 2.7.2.3 Lana de vidrio

Es un aislante que consta de numerosos filamentos poliméricos basados en dióxido de silicio extremadamente finos.

Figura 15-2: Lana de vidrio



Fuente: (DIRECT, 2015)

**Ventajas:**

- Bajo costo
- Instalación fácil
- Alta resistencia al fuego
- Alta resistencia a la contaminación microbiológica
- Buena resistencia a la mayoría de las sustancias químicas
- Alta resistencia al calor
- Disponible en diversas presentaciones (por ejemplo, telas, esteras, relleno suelto y planchas)

**Desventajas:**

- Pierde capacidad el aislante al mojarse

### **2.7.3 *Materiales transparentes***

Una de las áreas de la caja debe ser transparente, es aquella que se fija directamente al sol para suministrar calor, mediante el "efecto invernadero". Los materiales transparentes más comunes son el vidrio y el plástico. Estos materiales permiten el paso de los rayos del sol y posteriormente los retienen en el interior de la caja de la cocina solar. (COSTAS, 2011, pág. 14)

### 2.7.3.1 Vidrio

El vidrio es uno de los materiales más cotidianos y con el que estamos continuamente en contacto. Se fabrica con un recurso natural que procede de minas de arena (se obtiene básicamente a partir de sílice, caliza y sosa).

Ventajas:

- Su costo de obtención es bajo
- Produce refracción de la luz
- Mala conductora del calor y la electricidad.
- Su degradación química y su erosión física son muy lentas

Desventajas:

- Frágil

### 2.7.3.2 Plástico

Son aquellos materiales que, compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias, son fáciles de moldear y pueden modificar su forma de manera permanente a partir de una cierta compresión y temperatura.

Ventajas:

- Tienen larga duración
- Son económicos
- Son livianos

Desventajas:

- Se ablandan cuando son calentados
- No son biodegradables
- Contienen elementos tóxicos



## 2.7.4 *Material para la estructura base*

Para que la caja posea una configuración determinada y que sea duradera, se debe emplear materiales estructurales. Entre los principales tenemos al acero, madera y cemento.

### 2.7.4.1 *Acero*

Es una aleación de hierro con pequeñas cantidades de carbono y que adquiere con el temple gran dureza y elasticidad.

Figura 16-2: Acero



Fuente: (BARÓN, 2011, pág. 19)

#### Ventajas:

- Alta resistencia
- Elasticidad
- Alta ductilidad
- Enorme capacidad de absorción de energía
- Reciclable en un 100%

#### Desventajas:

- Facilidad de corrosión
- Peso elevado
- Costo medio

#### 2.7.4.2 *Madera*

La madera es una de las materias prima de origen vegetal más explotada por el hombre. Se encuentra en los árboles de tallo leñoso (que tienen tronco) encontrando su parte más sólida debajo de la corteza del árbol.

Figura 17-2: Madera



Fuente: (SUR, 2015)

#### Ventajas:

- Alta flexibilidad
- Resistente a la corrosión
- Bajo costo
- Fácil obtención

#### Desventajas:

- Baja resistencia mecánica
- Absorbe la humedad
- Rápido deterioro
- Difícil mantenimiento

#### 2.7.4.3 *Cemento*

Material de construcción compuesto de una sustancia en polvo que, mezclada con agua u otra sustancia, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el agua o el aire.

Figura 18-2: Cemento



Fuente: (DIRECT, 2015)

Ventajas:

- Bajo costo
- Resistente a la corrosión
- Fácil manipulación

Desventajas:

- Alta fragilidad
- Baja resistencia mecánica
- Elevado peso
- Baja resistencia a la humedad

## 2.8 Resistencia eléctrica

Resistencia eléctrica es toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado, atenuando o frenando el libre flujo de circulación de las cargas eléctricas o electrones. Esta situación hace que siempre se eleve la temperatura del conductor y que, además, adquiera valores más altos en el punto donde los electrones encuentren una mayor resistencia a su paso. Para los fines de este proyecto la resistencia eléctrica que funciona como sistema auxiliar en caso de una disminución considerable de la temperatura en el interior de la cocina será una de 1000 W de potencia. (Anexo G).

Figura 19-2: Resistencia eléctrica

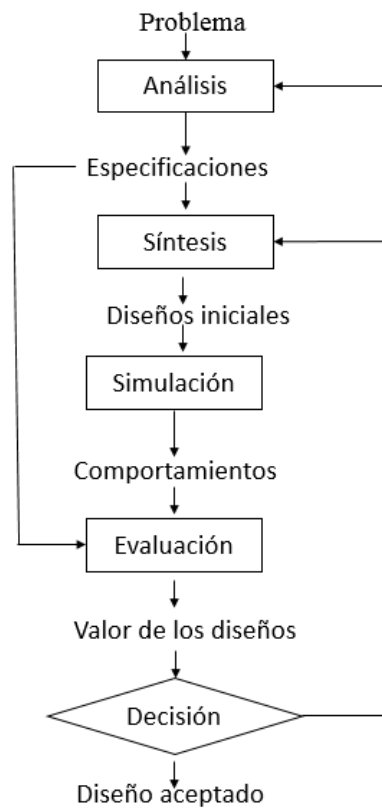


Fuente: (DIRECT, 2015)

## 2.9 Fases del diseño

El ciclo básico de diseño es una fase elemental del método de solución de problemas donde las actividades se orientan desde los objetivos hacia los medios. El ciclo básico de diseño utiliza una terminología propia cuyos contenidos se realizan en varios pasos: análisis, síntesis, simulación, evaluación y decisión.

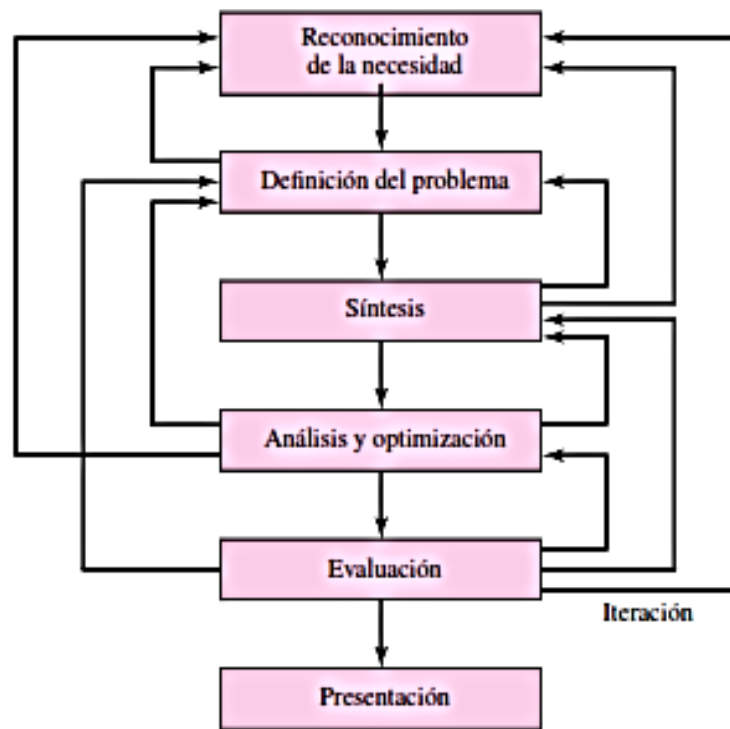
Figura 20-2: Ciclos básicos de los modelos de resolución de problemas



Fuente: (RIBA, 2002, pág. 72)

Un método de diseño con una retroalimentación, adaptando unas múltiples iteraciones hasta resolver nuestra necesidad. De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño, algunas fases de este pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación. (SHIGLEY, 2008, pág. 3)

Figura 21-2: Fases del proceso de diseño



Fuente: (SHIGLEY, 2008, pág. 37)

Los autores mencionados dan a conocer cada uno de sus procesos para desarrollar un diseño óptimo, tomando en cuenta toda una similitud, alternando procesos consecutivos a procesos iterativos.

### 2.9.1 *Etapas del proceso de diseño.*

El ciclo básico de diseño que se implementa de forma iterativa a lo largo de todo el proceso es una secuencia en forma de espiral convergente donde cada vez las soluciones encontradas se acercan más a los objetivos y requerimientos planteados en el problema. Ahora, debido a su carácter general y abstracto, no brinda el suficiente alcance para establecer una metodología de diseño, por lo que se sugiere estructurar el proceso de

diseño en grupos de actividades correspondientes que dirijan a ciertos estados de desarrollo.

Las etapas del proceso de diseño pueden expresarse en cuatro niveles de definición que determinan los resultados de cada una de las etapas sucesivas:

**Etapa 1:** Definición del producto

Resultados: Especificación.

**Etapa 2:** Diseño conceptual

Resultados: Principios de solución, estructura funcional, estructura modular.

**Etapa 3:** Diseño de materialización

Resultados: Planos de conjunto.

**Etapa 4:** Diseño de detalle

Resultados: Planos de pieza, documentos de fabricación.

2.9.1.1 *Definición del producto*

Uno de los métodos de mayor eficacia en esta actividad es el desarrollo de la función de calidad, QFD.

Figura 22-2: Esquema de la casa de calidad



Fuente: (RIBA, 2002, pág. 85)

Es una etapa fundamental del proceso de diseño que inicia con el producto y establece aquellas actividades destinadas a definirlo de forma precisa y completa. La definición del producto se instituye a través de la especificación que establece la guía y referencia para su diseño y desarrollo.

#### *2.9.1.2 Diseño conceptual*

Es aquella etapa del diseño que parte con la especificación del producto, desarrolla diversas alternativas de principio de solución y, después de analizarlas, elige la más conveniente.

#### *2.9.1.3 Diseño de materialización*

Ya definido un principio de solución, se debe materializar el producto por el implemento organizado de piezas, componentes, uniones, enlaces y otros elementos que se harán realidad a través de los materiales procesados, las dimensiones, las formas y los acabados superficiales.

#### *2.9.1.4 Diseño del detalle*

Es la etapa final del proceso de diseño que, parte de la definición proporcionada por los planos de conjunto y la memoria anexa, tiene por objeto el despliegue de todos los documentos necesarios para la fabricación del producto. (RIBA, 2002, pág. 78)

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DE LA COCINA SOLAR

En este capítulo se diseña partiendo del análisis de alternativas de los elementos que componen la cocina electro solar, mediante el método analítico-sintético se procesará la información recopilada, identificando técnicas y materiales de transferencia de calor para el uso de la energía solar. Para el diseño de concepto de la cocina electro solar se usa el método de diseño integrado, aplicando la herramienta de la casa de la calidad. Posteriormente para el diseño de detalle se utiliza los métodos de transferencia de calor, seguidamente se procede a la modelación matemática para el diseño y construcción, para realizar la toma de datos y evaluación del sistema mediante el método experimental.

#### 3.1 Determinación de las características de la cocina electro solar

La cocina solar debe cumplir con las características solicitadas por el cliente, estas características servirán para establecer parámetros técnicos ingenieriles con el fin de obtener una cocina solar calidad como producto final.

##### 3.1.1 *Desarrollo de la función de calidad QFD (Quality Function Deployment).*

La casa de la calidad conocida también como QFD por sus siglas en inglés (*Quality Function Deployment*). Despliegue de Funciones de Calidad. Se utiliza este método con el fin de determinar los lineamientos adecuados que garanticen una gran eficiencia en el proyecto de titulación planteado, para optimizar la consecución de los objetivos.

Utiliza un método gráfico que enlaza la “voz del usuario, que se obtiene de encuestas (Anexo A), entrevistas, exposiciones, etc. “(es decir los QUE’s)”, haciendo una comparación con “la voz del ingeniero” (es decir los CÓMO) que son las características del diseño. (RIBA, 2002, pág. 78)



### 3.1.1.1 *La voz del usuario.*

Las encuestas son realizadas a las personas que se encargan de las labores de cocción en sus hogares. Dichas encuestas fueron implementadas en lugares escogidos estratégicamente donde se aplicará nuestro proyecto (ciudad de Riobamba), con las cuales se pudo lograr las siguientes necesidades para la cocina solar.

### 3.1.1.2 *Cálculo de la muestra*

Para la determinación del tamaño de la muestra de la presente investigación, se utiliza el método de muestreo aleatorio no proporcional simple, tomando en cuenta como universo al número total de hogares en la ciudad de Riobamba que corresponde a:

$$N = \frac{P}{X}$$

Donde:

N: Universo, número total de hogares en la ciudad de Riobamba

P: Número de habitantes en la ciudad de Riobamba [252 865]. (INEC, 2016)

X: Promedio de personas por hogar [4 habitantes]. (INEC, 2016)

$$N = \frac{252865}{4}$$

$$N = 63216 \text{ hogares}$$

Para calcular el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2Z^2}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra.

N: Número total de hogares en la ciudad de Riobamba

$\sigma$ : Desviación estándar de la población corresponde a un valor constante de 0,5.

Z: Nivel de confianza. (95% de confianza equivale a 1,96).

e: Límite aceptable de error muestral 5%, [0,05]

$$n = \frac{(63216)(0,5)^2(1,96)^2}{(63216 - 1)(0,05)^2 + (0,5)^2(1,96)^2}$$

$$n = 95,9 \approx 96 \text{ encuestas}$$

### 3.1.1.3 Tabulación de encuestas

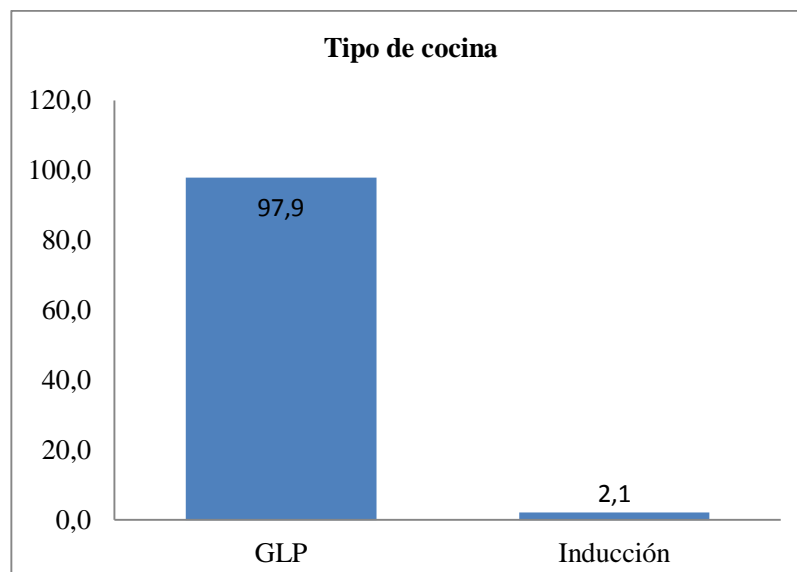
#### 3.1.1.3.1 Pregunta 1 (Tipo de cocina)

Tabla 1-3: Tipo de cocina

Tipo de cocina	N°	%
<b>GLP</b>	94	97,9
<b>Inducción</b>	2	2,1
<b>Total</b>	<b>96</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Autor

Gráfica 3-3: Tipo de cocina



Fuente: Autor

### Análisis

En los hogares de la ciudad de Riobamba, la mayor parte de las familias aún utilizan cocinas de GLP, a pesar de las permanentes campañas realizadas para el cambio de equipos, por las cocinas de inducción que son más amigables con el ambiente.

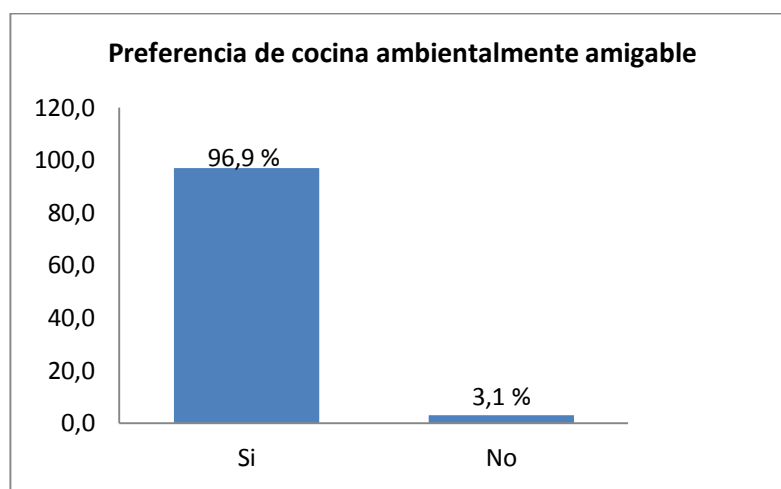
### 3.1.1.3.2 Pregunta 2 (Preferencia de cocina ambientalmente amigable)

Tabla 2-3: Preferencia de cocina ambientalmente amigable

<b>Preferencia de cocina ambientalmente amigable</b>	<b>N°</b>	<b>%</b>
<b>Si</b>	93	96,9
<b>No</b>	3	3,1
<b>Total</b>	96	100,0

Fuente: Autor

Gráfica 4-3: Preferencia de cocina ambientalmente amigable



Fuente: Autor

### Análisis

Los encuestados están preocupados por la situación climática actual, la mayor parte de ellos coinciden que los cambios abruptos se deben a los altos índices de contaminación, por ello la mayor parte podría optar por adquirir un equipo de cocción amigable con el ambiente.

### 3.1.1.3.3 Pregunta 3 (Características deseadas para la cocina)

Tabla 3-3: Características deseadas para la cocina

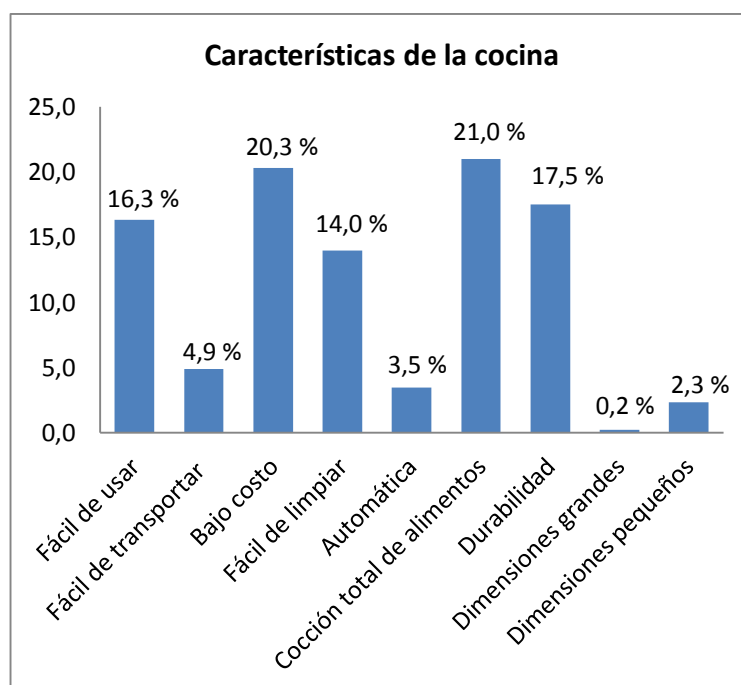
<b>Características cocina</b>	<b>N°</b>	<b>%</b>
<b>Fácil de usar</b>	70	16,3
<b>Fácil de transportar</b>	21	4,9
<b>Bajo costo</b>	87	20,3
<b>Fácil de limpiar</b>	60	14,0

Tabla 4-3: (Continuación) Características deseadas para la cocina

<b>Automática</b>	15	3,5
<b>Cocción total de alimentos</b>	90	21,0
<b>Durabilidad</b>	75	17,5
<b>Dimensiones grandes</b>	1	0,2
<b>Dimensiones pequeñas</b>	10	2,3
<b>Total</b>	429	100,0

Fuente: Autor

Gráfica 5-3: Características de la cocina



Fuente: Autor

## Análisis

Los requerimientos del usuario parten del análisis de las características más relevantes, para ello se considera a las cinco necesidades que tienen mayor valoración, tal como lo muestra la figura anterior. Estas se analizan para determinar las mejores soluciones posibles.

Una vez analizadas las encuestas se determina los requerimientos de la voz del usuario:

- Sea pequeña y ligera

- Cocción total de los alimentos
- Tenga bajo costo
- Fácil mantenimiento
- Amigable con el ambiente
- Facilidad de uso
- Durabilidad

#### 3.1.1.4 *La voz del ingeniero*

Al analizar las demandas de los posibles usuarios de la cocina electro solar, se realiza la traducción de las necesidades en parámetros técnicos según la perspectiva del diseñador y se asigna a cada uno de ellos un valor de referencia la cual se describe a continuación:

Tabla 5-3: Voz del ingeniero

<b>Parámetro Técnico</b>	<b>Valor de referencia</b>
Dimensiones del Equipo	50cmx50cmx30cm
Sistema Auxiliar	Resistencia Eléctrica
Manufactura	Costo aprox. USD \$200
Estructura de la cocina	Figuras regulares, superficies planas
Tipo de Energía	Solar
Funcionamiento	Acumulación o Concentración
Materiales Resistentes	Aluminio y Acero

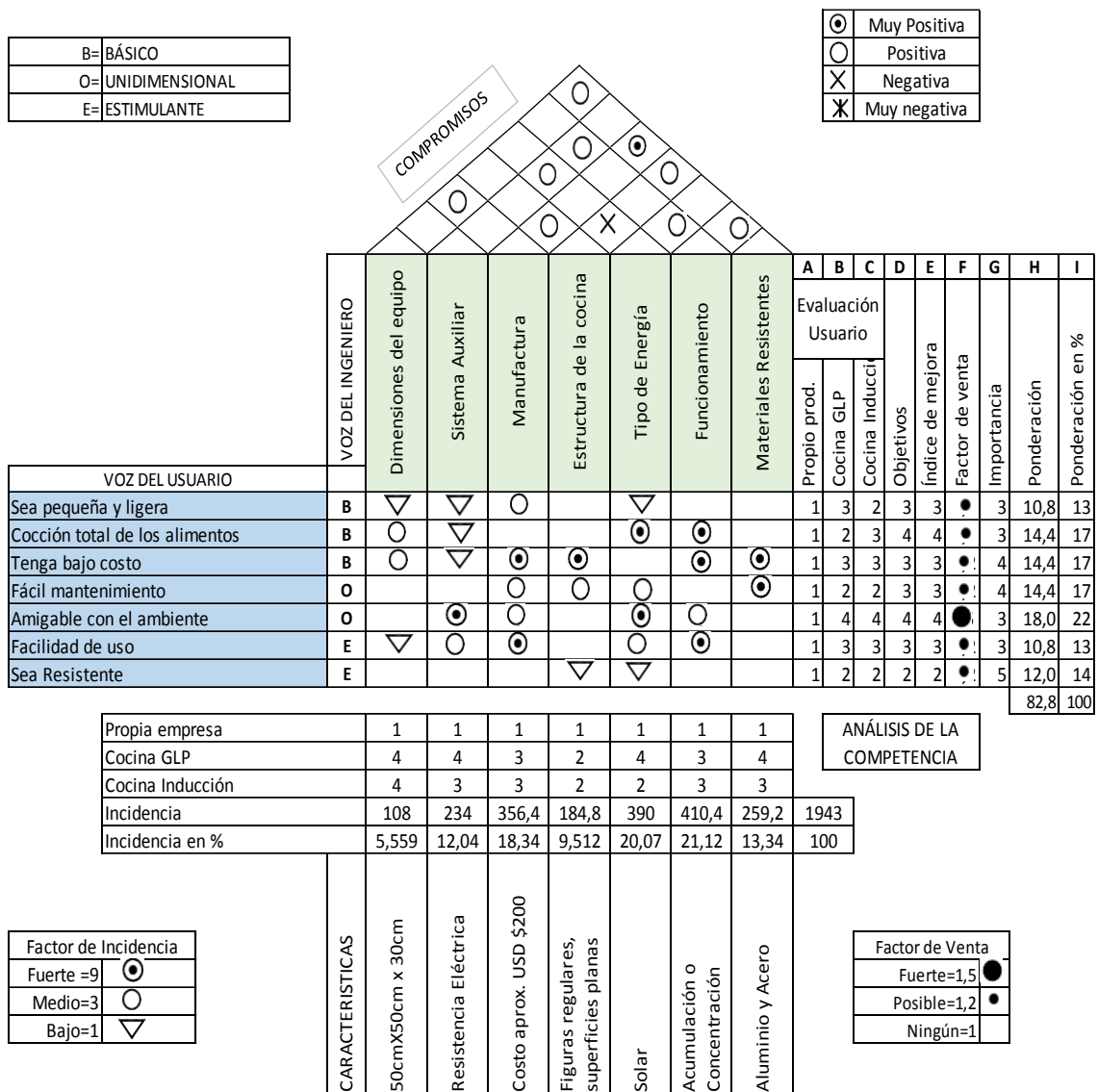
Fuente: Autor

#### 3.1.1.5 *Resultados de la matriz QFD.*

Mediante la voz del usuario y del ingeniero, se forma la casa de la calidad. En el techo se colocan las relaciones que existe entre los parámetros técnicos, la cual pueden ser: muy positiva, positiva, negativa y muy negativa.

En el cuerpo de la casa de calidad, se situaron las relaciones que hay entre las necesidades del cliente y los parámetros técnicos denominados factores de incidencia, la cual puede ser fuerte, medio o bajo.

Figura 23-3: Casa de la calidad



Fuente: Autor

En la parte derecha de la casa de la calidad se encuentra la evaluación realizada por el usuario, del producto que se propone y de dos equipos de cocción que están en funcionamiento (cocina de GLP y de inducción) la cual se le asigna valores que van desde 1 (no cumple la demanda en ningún porcentaje) hasta 5 (cumple la demanda al 100%).

Dentro de los objetivos se desea llegar a las aspiraciones del diseñador. La importancia es el interés del diseñador para satisfacer la necesidad del usuario, de igual manera va en el rango de 1 (nada importante) a 5 (muy importante). La ponderación tiene como resultado de la multiplicación de los valores del diseñador, el índice de mejora y el factor de venta. El porcentaje de ponderación permite establecer las necesidades más importantes para que el cliente al momento de elegir la alternativa esta sea la más óptima para la máquina.

Ya en la parte inferior de la casa de la calidad se realiza un análisis similar al de la parte derecha. Pero, la evaluación de incidencia se realiza con respecto a valores de referencia que se obtuvo en los parámetros técnicos que se describen en la Tabla 4.

### 3.1.1.6 Conclusiones de la matriz QFD

Una vez analizada la casa de la calidad, se determina los parámetros técnicos de mayor importancia teniendo en cuenta los requerimientos del usuario desde un punto de vista ingenieril, la cuales tenemos:

- Sistema Auxiliar
- Manufactura
- Materiales Resistentes
- Tipo de Energía
- Funcionamiento

Los parámetros técnicos mostrados dan al tipo de energía el parámetro más importante de la cocina con un porcentaje del 24%. Mediante este parámetro se define que la fuente de energía de la cocina sea de origen renovable, en este caso el sol.

### 3.1.1.7 Especificaciones técnicas

Es el conjunto de requisitos que debe cumplir el producto final, aquellos que no cumplan con lo establecido quedaran fuera de las especificaciones técnicas.

Las especificaciones técnicas obtenidas de la matriz QFD, para la construcción de la cocina solar, se detallan a continuación en la Tabla 5.

Tabla 6-3: Resultados de la matriz QFD

Empresa/Cliente: <b>Tesista</b>		Producto : <b>Cocina Electro Solar</b>		Fecha Inicial: <b>11/7/2017</b>
Diseñador: <b>Verny Resabala</b>				Última Versión: <b>30/7/2017</b>
Especificaciones				
<b>Concepto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Propone</b>	<b>R/D</b>	<b>Descripción</b>
Tamaño	11/7/2017	I	D	No debe ser excesivamente grande, ni muy pequeño.

Fuente: Autor

Tabla 7-3: (Continuación) Resultados de la matriz QFD

Sistema Aux.	11/7/2017	I	D	Debe cumplir con el objetivo de cocinar de forma total los alimentos
Costo	11/7/2017	I	R	Que no exceda un Presupuesto: 200\$
Estructura	11/7/2017	I	R	Facilidad de mantenimiento y de cambio de accesorios.
Energía	11/7/2017	I	D	El suministro de energía debe ser de origen renovable.
Funcionamiento	11/7/2017	I	D	Su uso y manipulación debe ser sencilla para el usuario.
Materiales	11/7/2017	C	D	Los materiales deben ser resistentes a las condiciones climáticas y de uso.
<b>Propone: C= Cliente; I= Ingeniería</b>				
<b>R/D: R=Requerimiento; MR=Modificar. Requerimiento; NR= Nuevo Requerimiento.; D=Deseo</b>				

Fuente: Autor

### 3.1.1.8 Estructura funcional

Para describir la transformación entre flujos de entrada y salida se tomó el concepto de función según (RIBA, 2002, pág. 68) el cual menciona que: es la formulación abstracta de una actividad, independientemente de la solución particular que lo materializa.

En el primer nivel se presenta la tarea principal que busca resolver la cocina electro solar que se está diseñando. Una vez establecido la función principal y los flujos de entrada y de salida se debe generar sub-funciones que estarán relaciones entre sí.

Figura 24-3: Análisis funcional- Nivel 1



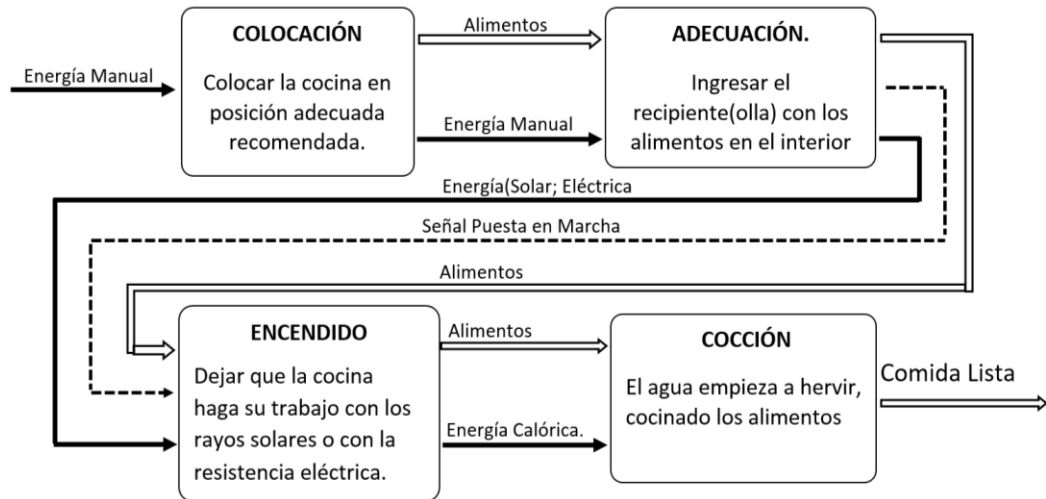
Fuente: Autor

Para el nivel inicial se realiza un análisis funcional de las señales que ingresan las cuales son: alimentos, energía (Solar; Eléctrica), señal puesta en marcha.



A continuación, se debe identificar las funciones principales y así conseguir la función global. De esta manera el siguiente nivel de la estructura funcional queda de la siguiente manera:

Figura 25-3: Análisis funcional- Nivel 2



Fuente: Autor

El análisis funcional para este proyecto se desarrolla en dos niveles, la comida debe ser cocinada, en caso de que no se logre solo con la ayuda del sol, se pone en marcha un sistema auxiliar con una resistencia que ayude a elevar la temperatura del ambiente donde están colocados los alimentos.

Para el primer nivel se realiza un análisis funcional el cual es la cocción de los alimentos, para efectuar esta función se requiere de: alimentos, energía (Solar; Eléctrica), señal puesta en marcha.

### 3.2 Definición de los módulos

Para el diseño de la cocina solar las funciones que permiten el proceso de cocción se da en un solo módulo, desde la adecuación hasta la cocción obteniendo así el resultado esperado la cual es una comida lista para servirse.

### 3.2.1 *Soluciones para el módulo.*

Aquí se crea las soluciones para el módulo y subsiguientemente se evalúa las alternativas creadas para proceder con el diseño. El módulo cumple con las siguientes funciones:

- Colocación
- Adecuación
- Encendido
- Cocción

A continuación, se detallan las funciones que el módulo único del presente proyecto cumple para luego de un análisis ponderado, hallar la mejor alternativa de solución:

Alternativa 1: Cocina solar de concentración

Alternativa 2: Cocina solar de acumulación

#### 3.2.1.1 *Colocación*

Colocar la cocina en una posición adecuada recomendada, la cual debe tener una facilidad para el usuario tanto como para su funcionamiento como para su traslado.

Las opciones para este tipo de alternativas tienen que ver con los tipos de funcionamiento de la cocina solar, ya que de esto depende la facilidad de posicionar a la cocina y de la construcción de la misma, a continuación, se indica las clases de cocinas tomadas para este proyecto.

Cocina solar de concentración

- El equipo debe poseer un sistema de seguimiento manual o automático
- Requiere mayor orientación (entre 15 o 20min)
- Difícil fabricación, debido a que los accesorios de los paneles deben tener una curvatura específica. (BÈRRIZ, 2010)

### Cocina solar de acumulación

- Son generalmente fijas
- Facilidad de construcción. (BÈRRIZ, 2010)

#### 3.2.1.2 *Adecuación*

Se basa en la colocación del recipiente (olla), el mantenimiento de los accesorios, también tiene que ver con la cantidad de alimentos a ser cocinados ya que de esto dependerá el recipiente que se elegirá para cocina.

### Cocina solar de concentración

- Fácil mantenimiento
- Dificultad al colocar el recipiente para la cocción
- Limitada capacidad para los productos

### Cocina solar de acumulación

- Ligera dificultad para su mantenimiento
- Facilidad de Operación
- Facilidad de cambio de accesorios

#### 3.2.1.3 *Encendido*

Tiene que ver con el tipo de funcionamiento de la cocina, esto dependerá la forma de trabajo, además contara con un sistema auxiliar eléctrico que ayudara en momentos críticos cuando no esté presente los rayos del sol.

### Cocina solar de concentración

- Solo utiliza radiación directa
- No aprovecha la radiación difusa
- Tiene mayores pérdidas de calor en el recipiente (olla), debido a su exposición

### Cocina solar de acumulación

- Utiliza radiación directa y difusa para su funcionamiento
- Las pérdidas de calor en el recipiente (olla) son menores (ECOAGRICULTOR, 2016)

#### 3.2.1.4 Cocción

La cocción de la cocina solar está relacionada con la geometría del mismo, esto quiere decir que según la forma que tome la cocina esta tendrá mayor autonomía, generara mayor cantidad de calor.

### Cocina solar de concentración

- Genera mayores temperaturas (hasta 300°C). (ECHEVERRIARZA, 2005, pág. 13)
- Por alcanzar altas temperaturas, requiere mayores cuidados en su operación
- Tiempo de cocción bajo
- Durante su uso puede producirse molestias en la vista por los reflectores

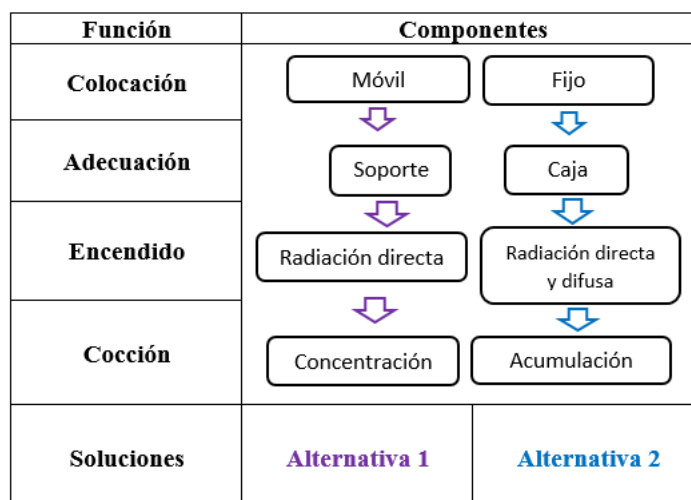
### Cocina solar de acumulación

- No hay que revolver los alimentos, puesto que no se pegan
- Los alimentos no se queman y conservan su sabor y valor nutritivo
- Son más lentas que las de concentración
- Ideal para esterilizar frascos de cristal, deshidrata alimentos
- Mayor seguridad de manipulación, ya que solo se calienta su interior.  
(ECHEVERRIARZA, 2005)

## 3.3 Alternativa de los módulos

Para el siguiente paso se crea soluciones del módulo y se valora las alternativas generadas para proceder con el diseño, el resultado de las distintas alternativas se muestra a continuación en la figura 26, donde se indican las 2 alternativas posibles de cocinas solares.

Figura 26-3: Alternativa de los módulos



Fuente: Autor

En la figura 5 y 7 se puede observar la alternativa 1 y alternativa 2 respectivamente, la cual mediante un análisis de ponderaciones se elige la alternativa que más conveniente.

### 3.3.1 Evaluación de soluciones.

Las evaluaciones en general no se centran sobre un determinado elemento, sino que se deben ponderar distintos aspectos del sistema en base a criterios que a menudo implican juicios de valor (RIBA, 2002, pág. 59). Para tomar una decisión siempre deben estar presentes los dos elementos siguientes:

*Alternativas.* Como mínimo debe de disponerse de dos alternativas cuyas características deben ser diferentes.

*Criterios.* Hay que establecer los criterios en base a los cuales las alternativas deberán ser evaluadas, así como también la ponderación relativa entre ellas.

#### 3.3.1.1 Método ordinal corregido de criterios ponderados.

Este método, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos (RIBA, 2002, pág. 60). Se basa en tablas donde cada

criterio se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

Se designa el valor de 1, si el criterio o solución de las filas es superior que el de las columnas.

Se designa el valor de 0.5, si el criterio o solución de las filas es equivalente al de las columnas.

Se designa el valor de 0, si el criterio o solución de las filas es inferior al de las columnas.

### **3.3.2 Criterios de valoración del módulo.**

Se empleó el método ordinal corregido de criterios ponderados, para comparar las posibles soluciones y obtener la más adecuada. Dichos criterios son:

*Tipo de energía.* - Este criterio es el que más importa ya que de este depende el diseño de la cocina, debido a que se opta como su fuente de energía la que proviene del sol.

*Materiales resistentes.* - Para discernir este criterio, se toma en cuenta que los materiales deben ser resistentes a la corrosión y a las condiciones de funcionamiento.

*Sistema auxiliar.* - Para este criterio se propone utilizar una resistencia eléctrica, en caso de que la fuente de energía solar disminuya.

*Manufactura.* - El costo de la cocina solar debe ser asequible para un rango mayor de clientes (desde pequeñas familias hasta gran cantidad de personas), además el presupuesto con el que se trabaja tiene un límite.

*Funcionamiento.* - La cocina solar debe aprovechar la mínima oportunidad de energía proveniente del sol durante el día, es decir utilizar tanto la radiación directa como la difusa. Además, la manipulación y funcionamiento, deben ser accesibles y amigables con el usuario.

A continuación, en la tabla 6 se observa la evaluación para el criterio de cada módulo, en busca de cuál es la más ponderante.

Tabla 8-3: Evaluación del peso específico de cada criterio del módulo.

Criterio	Tipo de energía	Materiales resistentes	Sistema auxiliar	Manufactura	Funcionam.	$\Sigma+1$	Pond.
Tipo de energía	-	0,5	1	1	1	4,5	4,5/15
Materiales resistentes	0,5	-	0,5	1	0,5	2,5	2,5/15
Sistema auxiliar	1	0,5	-	0,5	0	2	2/15
Manufactura	1	1	0,5	-	1	3,5	3,5/15
Funcionam.	1	0,5	0	1	-	2,5	2,5/15

Fuente: Autor

A continuación, se evalúan las soluciones con respecto a los criterios:

Solución 1: Cocina solar de concentración.

Solución 2: Cocina solar de acumulación.

Tabla 9-3: Evaluación del peso específico del tipo de energía.

Tipo de energía	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Pond.
Solución 1	-	0,5	1,5	1,5/3
Solución 2	0,5	-	1,5	1,5/3

Fuente: Autor

Tabla 10-3: Evaluación del peso específico de materiales resistentes.

Materiales resistentes	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Pond.
Solución 1	-	0,5	1,5	1,5/3
Solución 2	0,5	-	1,5	1,5/3

Fuente: Autor

Tabla 11-3: Evaluación del peso específico del sistema auxiliar.

Sistema auxiliar	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Pond.
Solución 1	0	0,5	1,5	1,5/3
Solución 2	0,5	0	1,5	1,5/3

Fuente: Autor

Tabla 12-3: Evaluación del peso específico de manufactura.

Manufactura	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Pond.
Solución 1	0	0	1	1/3
Solución 2	1	0	2	2/3

Fuente: Autor

Tabla 13-3: Evaluación del peso específico del funcionamiento.

Funcionamiento	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Pond.
Solución 1	0	0	1	1/3
Solución 2	1	0	2	2/3

Fuente: Autor

En base al análisis anterior, se concluye que la mejor opción para la cocina electro solar es la solución 2, es decir la de tipo acumulación, debido a su bajo costo de fabricación y de reparación, y su funcionamiento es más adecuado, accesible y amigable para los usuarios.

### 3.4 Características de la cocina solar

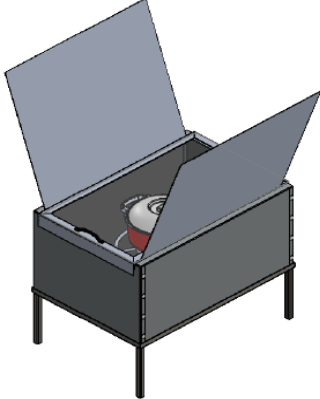

Analizadas las distintas alternativas en función de los requerimientos del cliente, estos fueron evaluados para llegar de esta manera a la mejor solución posible

La cocina solar seleccionada contara un sistema auxiliar que permita seguir cocinando en condiciones desfavorables (ausencia del sol), además la clase de cocina pertenece a las de acumulación de calor, la cual tiene una forma de cajón. Por lo tanto, a partir de este análisis el equipo se denomina “cocina electro solar”.

Ahora, los requerimientos seleccionados forman parte del juicio del técnico, resultando así un pre diseño más acorde a la realidad, en la tabla 12 se muestran cuáles serían los elementos que conformarían la cocina electro solar.



Tabla 14-3: Pre diseño de la alternativa seleccionada

Nombre	Esquema
<b>Estructura Base</b>	
<b>Carcasa</b>	
<b>Aislante</b>	
<b>Caja de aluminio oscura</b>	
<b>Paneles de aluminio externos</b>	
<b>Tapa</b>	
<b>Sistema auxiliar cocina eléctrica</b>	

Fuente: Autor

### 3.4.1 Elementos de la cocina electro solar

*Estructura Base.* -Comprende en los soportes de la cocina, la cual permitirá la sujeción contra el piso.

*Carcasa.* -Permite dar la forma de la cocina.

*Aislante.* -Aumenta el rendimiento de la cocina.

*Caja de aluminio oscura* - Absorbe la insolación del lugar geográfico donde se encuentra.

*Paneles de aluminio externos.*- Direcciona la insolación para mayor captación de calor.

*Tapa.* – Sella la caja para que exista una mejor acumulación del calor.

*Sistema auxiliar cocina eléctrica.* -Se utiliza para momentos en los cuales la energía del sol no genere la demanda para cocinar los alimentos.

### 3.5 Diseño térmico de la cocina electro solar

De acuerdo a la selección del modelo de cocina solar se propone un diseño que satisfaga las características mínimas con las cuales debe cumplir para la cocción de alimentos, tomándose como referencia los parámetros ambientales de la ciudad de Riobamba.

### 3.5.1 Recursos disponibles energéticos

Para determinar la insolación en Riobamba se toma en cuenta la ecuación expuesta en el apartado en el apartado 2.4.1 ya que permite conocer con gran exactitud la radiación en cualquier posición geográfica de la tierra, teniendo como expresión matemática:

$$I = G_o \left[ 0,29 * \cos \phi + 0,52 * \frac{n}{N} \right]$$

Donde:

$I$ : Insolación en la cualquier posición geográfica del planeta [ $W/m^2$ ]

$G_o$ : Constante solar o radiación que llega a la atmosfera [ $1353W/m^2$ ]

$\cos \phi$ : Coseno del Angulo de latitud geográfica, para Riobamba, 10 38 min.

Latitud sur. (Medida tomada con GPS) (BENAVIDES, 2016, pág. 46)

0,29 y 0,52: Coeficientes experimentales la cual corrigen la radiación solar incidente, en función de la dispersión de la radiación solar a través de la atmosfera.

$n$ : Número de horas del sol brillante al día (heliofonía) [5,43 media de los cuatro últimos años] dato proporcionado por la estación agro meteorológica ESPOCH (2017, Ing. Hernán Negrete)

$N$ : Número de horas del sol al día en el Ecuador. [12 horas] dato proporcionado por la estación agro meteorológica ESPOCH (2017, Ing. Hernán Negrete)

#### 3.5.1.1 Recurso solar disponible en la ciudad de Riobamba.

Para determinar la radiación solar (insolación) solar en Riobamba, se requiere conocer la cantidad de horas de sol brillante (heliofonía). En la estación meteorológica de la ESPOCH, en la Facultad de Recursos Naturales, se realiza la toma y procesamiento de datos de las distintas variables climatológicas presentes en la ciudad de Riobamba.

La heliofonía es una de las variables tomadas y registradas por la estación meteorología. El Ingeniero Hernán Negrete, es el encargado de registrar y tabular estos datos.

La adquisición de datos se realiza mediante el heliógrafo como se observa en la figura.

Figura 27-3: Heliógrafo de la estación meteorológica de la ESPOCH.



Fuente: (JIMÉNEZ & PORTALANZA, 2009, pág. 25)

En la tabla 13 se muestra los datos tomados y registrados por la estación en el transcurso de los últimos cuatro años. La toma de los datos se la realiza cada hora y se colocan en un registro para ir determinando los valores promedios. Para el cálculo de la insolación en Riobamba para el proyecto se toma el valor medio de los cuatro últimos años que fue proporcionado por la estación.

Tabla 15-3: Heliofonía media en Riobamba

AÑOS	HORAS DE SOL	MEDIA HORAS DE SOL	MEDIA EN PORCENTAJE
2013	156,4	5,5	45,5
2014	152,9	5,3	43,6
2015	162,2	5,4	44,7
2016	161,1	5,5	45,4
<b>Media</b>	158,15	5,43	44,8

Fuente: Estación Agro Meteorológica ESPOCH, 2017 (Anexo F)

### 3.5.2 *Cálculo de la potencia solar*

Con los datos recopilados se procede a determinar la insolación promedio en la ciudad de Riobamba, en base a la ecuación (1) tomada del apartado 2.4.1 y se obtiene el siguiente resultado:

$$I = G_o \left[ 0,29 * \cos \phi + 0,52 * \frac{n}{N} \right]$$

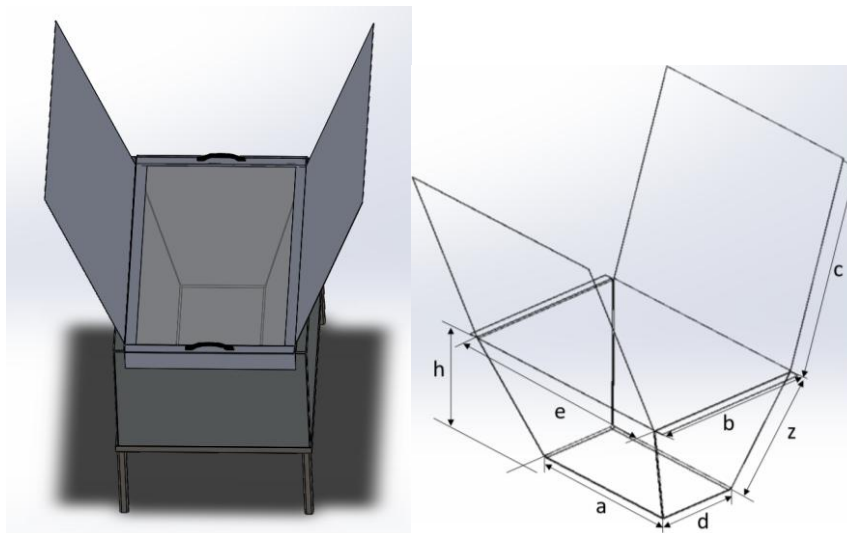
$$I = 1353 * (029 * \cos(1,633)) + 0,52 * \frac{5,43}{12}$$

$$I = 710,57 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

### 3.5.3 *Parámetros iniciales para el cálculo térmico*

Se propone un horno solar tipo caja prismática triangular con dos paneles, por lo cual se tiene tres secciones de área en la que el sol irradia. Una directamente y cuatro indirectas ubicadas a los lados del panel central.

Figura 28-3: Caja tipo prismática triangular



Fuente: Autor

Dimensiones propuestas:

$$a = 0.4 \text{ [m]}$$

$$b = 0.4 \text{ [m]}$$

$$c = 0.5 \text{ [m]}$$

$$e = 0.5 \text{ [m]}$$

$$h = 0.3 \text{ [m]}$$

$$d = 0.2 \text{ [m]}$$

$$z = 0.32 \text{ [m]}$$

### 3.5.4 Cálculos térmicos del diseño propuesto

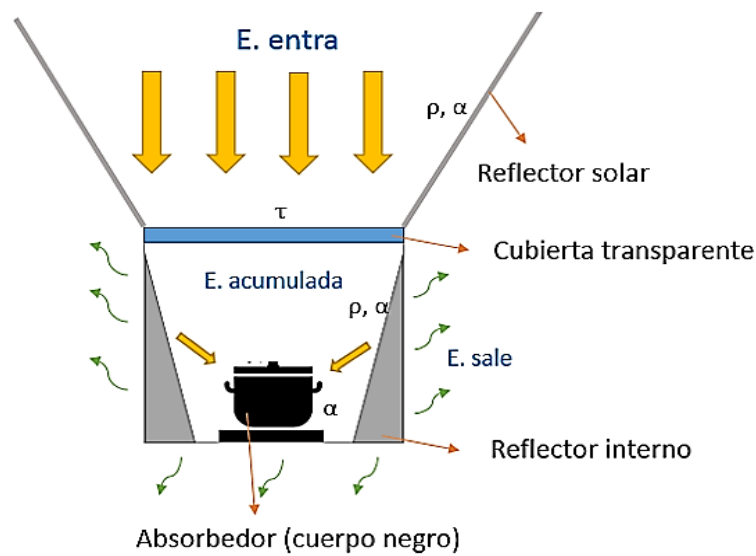
#### 3.5.4.1 Balance de energía en la cocina solar

El balance energético aplicado al sistema de análisis se detalla a continuación:

$$(E_{entra} + E_{generado}) - E_{sale} = E_{acumulada} \quad (2)$$

$$q_u = q_{abs} - U_{total}(T_{supnegra} - T_{amb})A_c \quad (3)$$

Figura 29-3: Esquema del balance energético



Fuente: Autor

Donde:

$q_u$ : Calor útil [W]

$q_{abs}$ : Calor que recibe la cocina solar [W]

$U_{total}$ : Coeficientes de pérdidas totales [ $W/m^2\text{°K}$ ]

$T_{supabs}$ : Temperatura de la superficie negra [ $\text{°K}$ ]

$T_{amb}$ : Temperatura ambiente [ $\text{°K}$ ]

$A_c$ : Área de captación (superficie negra) [ $m^2$ ]

### 3.5.4.2 Cálculo de la energía recibida por la cocina solar

Para evaluar la energía recibida por la cocina solar se parte de la siguiente ecuación, (TORO, 2015, pág. 34):

$$q_{abs} = \eta_{total} * A_a * I \quad (4)$$

Donde:

$q_{abs}$ : Energía recibida por la superficie negra [W]

$\eta_{total}$ : Rendimiento óptico total de la cocina [adimensional]

$A_a$ : Área de apertura [m<sup>2</sup>]

$I$ : Insolación en Riobamba [W/m<sup>2</sup>] (ver apartado 3.5.2)

El rendimiento óptico está en función de los materiales presentes en la incidencia de radiación en la superficie negra:

$$\eta_{total} = \rho * \alpha * \tau * f_t * \gamma \quad (5)$$

Donde:

$\rho$ : Reflectividad del Aluminio ASTM A 1100,  $\rho = 0,8$  (Anexos B)

$\alpha$ : Absortividad de la superficie negra,  $\alpha = 0,97$  (Anexos C)

$\tau$ : Transmisividad de la cubierta de vidrio,  $\tau = 0,86$  (Anexos D)

$f_t$ : Fracción de la apertura no sombreada,  $f_t = 0,93$  (TORO, 2015, pág. 25)

$\gamma$ : Factores de forma, errores en la pendiente del espejo reflector,  $\gamma = 0,93$  (TORO, 2015, pág. 25)

Todos estos coeficientes son adimensionales.

### 3.5.4.3 Cálculo del rendimiento óptico en la cocina solar.

Una cocina solar se basa en el principio de concentración debido a que el área de apertura es mayor al área de absorción, los espejos reflejan la luz hacia la superficie negra, debido a que esta luz no llega de manera directa se realiza el cálculo del rendimiento óptico, que está en función de la reflectividad de los paneles de aluminio, transmisividad de la cubierta de vidrio y la absorptividad de la superficie negra. Todos los factores inmersos en el rendimiento óptico se encuentran entre 0,9 y 0,96, excepto la reflectividad y la transmisividad que depende de la calidad del material. El factor de fracción de apertura no sombreada depende de la suciedad o cualquier elemento que evita que pase la luz a la superficie negra, y el factor de forma depende de los errores debido a la construcción de los elementos reflectivos.

$$\eta_{total} = \rho * \alpha * \tau * f_t * \gamma$$

$$\eta_{total} = 0,8 * 0,97 * 0,86 * 0,93 * 0,93$$

$$\eta_{total} = 0,577$$

El área de apertura es aquella que es visible a la radiación solar, y las áreas interiores de la cocina solar:

$$A_a = A_{supnegra} + A_{laterales} \quad (6)$$

Donde:

$A_{supnegra}$ : Área de la superficie negra [m<sup>2</sup>]

$A_{lateral}$ : Área de las superficies laterales [m<sup>2</sup>]

$$A_a = (0,4 * 0,2)m^2 + [(0,07 * 2) + (0,12 * 2)] = 0,4541 m^2$$

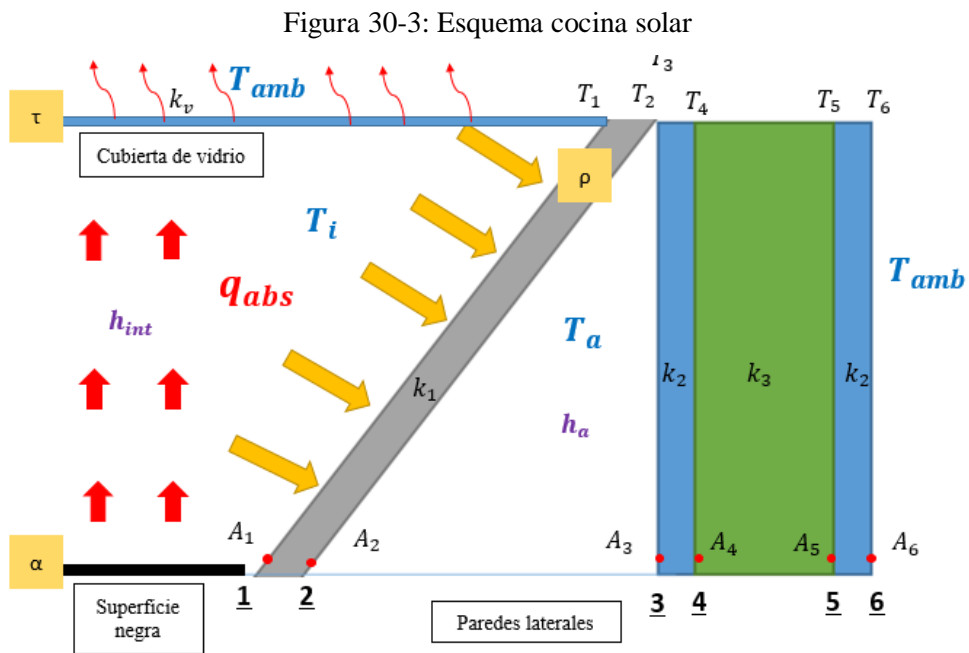
$$q_{abs} = \eta_{total} * A_a * I$$

$$q_{abs} = 0,577 * 0,4541 * 710,57$$

$$q_{abs} = 178,84 \text{ [W]}$$

### 3.5.4.4 Cálculo de las pérdidas térmicas en la cocina solar

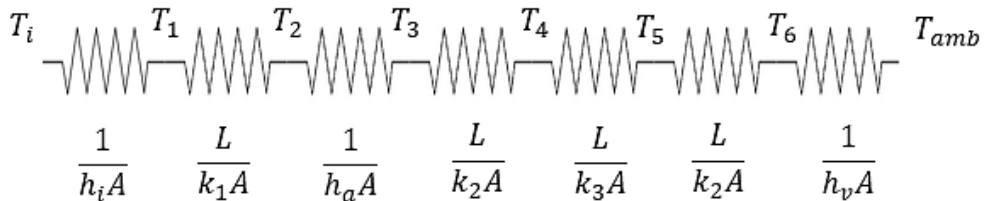
Las pérdidas térmicas en la cocina solar se dan por conducción, a través de las paredes y por convección y radiación a través de la cubierta de vidrio. El flujo de calor que incide en las paredes de la cocina solar es el mismo que se calculó anteriormente.



Fuente: Autor

### 3.5.4.5 Pérdidas térmicas a través de las paredes laterales

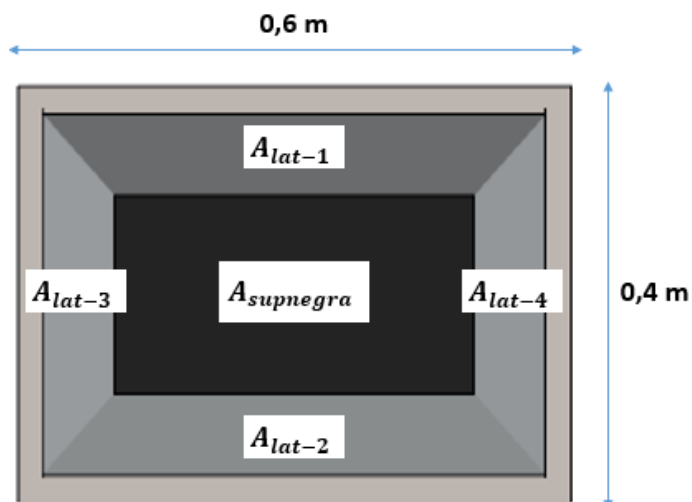
Figura 31-3: Circuito térmico en las paredes de la cocina solar



Fuente: Autor



Figura 32-3: Vista superior de la cocina solar



Fuente: Autor

$$A_{lat-1} = A_{lat-2} \quad (7)$$

$$A_{lat-3} = A_{lat-4} \quad (8)$$

Tabla 16-3: Áreas de las paredes de la cocina solar

$A_{lat-1} = A_{lat-2}$	$A_{lat-3} = A_{lat-4}$
Paredes laterales 0,6 metros	Paredes laterales 0,4 metros
$A_{1l} = A_{2l} = 0,12 \text{ m}^2$	$A_1 = A_2 = 0,07 \text{ m}^2$
$A_{3l} = A_{4l} = 0,16 \text{ m}^2$	$A_3 = A_4 = 0,12 \text{ m}^2$
$A_{5l} = A_{6l} = 0,21 \text{ m}^2$	$A_5 = A_6 = 0,14 \text{ m}^2$
$p_{1l} = 1,5 \text{ m}$	$p_1 = 1,12 \text{ m}$
$p_{3l} = 1,74 \text{ m}$	$p_3 = 1,38 \text{ m}$
$p_{5l} = 1,94 \text{ m}$	$p_5 = 1,62 \text{ m}$
$A_{cub} = 0,26 \text{ m}^2$	
$p_{cub} = 2,1 \text{ m}$	

Fuente: Autor

Tabla 17-3: Conductividad térmica de los materiales

MATERIAL	VALOR $\left[\frac{W}{m^{\circ}K}\right]$	Simbología	Fuente
Aluminio ASTM A 1100	222	$k_{al}$	Cengel (Tabla A-5)
Acero galvanizado	53	$k_{acerog}$	Anexo E
Lana de vidrio	0,038	$k_{lanav}$	Holman (Tabla A-3)
Vidrio de vent. (cubierta)	0,7	$k_v$	Cengel (Tabla A-8)

Fuente: Autor

En la Tabla 15 se muestra los valores de conductividad térmica de los materiales inmersos en la cocina electro solar.

Para el cálculo de U (coeficiente de pérdidas), se encuentra el valor de R, este valor es la suma de todas las resistencias que componen el circuito térmico.

$$R = \frac{1}{h_i A_1} + \frac{e}{k_{al} A_2} + \frac{1}{h_a A_3} + \frac{e}{k_{acerog} A_3} + \frac{e_{lanav}}{k_{lanav} A_4} + \frac{e}{k_{acerog} A_5} + \frac{1}{h_v A_6} \quad (9)$$

Espesor en las láminas tanto del acero como del aluminio es igual a:  $e = 0,7mm = 7 \times 10^{-4} m$ , y el espesor de la lana de vidrio:  $e_{lanav} = 25,4 mm = 0,0254 m$ .

Tabla 18-3: Temperaturas cocina electro solar [ $^{\circ}C$ ]

DESCRIPCIÓN	VALOR	SIMBOLOGÍA
Temperatura ambiente	37	$T_{amb}$
Temperatura interna del horno	113	$T_i$
Temperatura de la superficie negra	115	$T_{supnegra}$
Temperatura paredes internas	115	$T_1$
Temperatura en el espacio anular	85	$T_a$
Temperatura pared interior	75	$T_3$
Temperatura cubierta de vidrio (interior)	50	$T_{iv}$
Temperatura cubierta de vidrio (exterior)	45	$T_{ev}$
Temperatura exterior cocina solar	28	$T_{ext}$

Fuente: Autor

En la Tabla 16 se muestran los valores de temperaturas presentes en la cocina electro solar, estas fueron medidas mediante un sensor de temperatura con el respectivo controlador.

### 3.5.4.6 Resistencia térmica por convección coeficiente de transferencia $h_i$

En el interior de la cocina se tiene convección natural sobre una superficie inclinada siendo la superficie de arriba la más caliente, se usará la temperatura fílmica:

$$T_f = \frac{T_i + T_1}{2} = \frac{113 + 115}{2} = 114[^\circ\text{C}] = 387 [^\circ\text{K}] \quad (10)$$

Tabla 19-3: Propiedades a temperatura fílmica (114 °C)

Temperatura	Conductividad térmica (k)	Viscosidad cinemática (v)	Número de Prandtl (Pr)
°C	$\left[\frac{W}{m^\circ K}\right]$	$\left[\frac{m^2}{s}\right]$	[adimensional]
100	0,03095	2,306 e-5	0,711
114	X 1	X 2	X 3
120	0,03235	2,522 e-5	0,7073

Fuente: (YUNUS, 2011, pág. 435)

Se usa el método de interpolación para encontrar los siguientes valores:

$$X 1 = k_{aire} = 0,1154 \left[\frac{W}{m^\circ K}\right]$$

$$X 2 = \nu = 2,4572 * 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s}\right]$$

$$X 3 = Pr = 0,7084$$

### 3.5.4.7 El cálculo del número de grashof es:

$$G_{RL} = \frac{g * \beta(T_i - T_1)L_c^3}{\nu^2} \quad (11)$$

Donde:

$R_{AL}$ : Número de Rayleigh

$\theta$ : Ángulo que forma la placa con la vertical

$g$ : Aceleración gravitacional [9,8 m/s<sup>2</sup>]

$\beta$ : Coeficiente de expansión volumétrica [ $K^{-1}$ ]

$L_C$ : Longitud característica [m]

$\nu$ : Viscosidad cinemática [m<sup>2</sup>/s]

$T_i$ : Temperatura al interior de la cocina [°K]

$T_1$ : Temperatura en la pared del reflector de aluminio [°K]

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (12)$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{387} = 2,5839 \times 10^{-3} [K^{-1}]$$

3.5.4.8 *La longitud característica es la división del área y el perímetro*

$$L_C = \frac{A}{p} \quad (13)$$

$$L_C = \frac{A}{p} = \frac{0,07}{1,12} = 0,0625 [m]$$

3.5.4.9 *Cálculo de Grashoff es efectúa mediante*

$$G_{RL} = \frac{9,8 * (2,5839 * 10^{-3})(115 - 113) * 0,0625^3}{(2,4572 * 10^{-5})^2}$$

$$G_{RL} = 20478,15$$

$$Ra = G_{RL} * Pr \quad (14)$$

$$Ra = 14433$$

3.5.4.10 *Número de Nusselt usando la correlación de Churchill y Chu*

$$Nu = 1 + 1,44 \left( 1 - \frac{1708}{Rac\cos\theta} \right) \left[ 1 - \frac{1708(\text{sen } 1,8\theta)}{Rac\cos\theta} \right] + \left[ \left( \frac{Rac\cos\theta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (15)$$

$$Nu = 1 + 1,44 \left( 1 - \frac{1708}{14433 * \cos 15} \right) \left[ 1 - \frac{1708(\text{sen } 27)}{14433 * \cos 15} \right] + \left[ \left( \frac{1433 * \cos 15}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

$$Nu = 2,53 \text{ [Adimensional]}$$

3.5.4.11 *Factor de convección se despeja de la siguiente ecuación*

$$Nu = \frac{hL_c}{k} \quad (16)$$

$$h_i = \frac{Nuk}{L_c} = \frac{2,53 * 0,1154}{0,0625} = 4,67 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

$$\frac{1}{h_i A_1} = \frac{1}{4,67 (0,07)} = 3,05 \left[ \frac{^\circ K}{W} \right]$$

3.5.4.12 *Resistencia térmica debido al reflector de aluminio*

$$\frac{e}{k_{al} A_1} = \frac{7 * 10^{-4} m}{222 \frac{W}{mK} * 0,07 m^2} = 4,504 * 10^{-5} \left[ \frac{^\circ K}{W} \right]$$

3.5.4.13 *Resistencia térmica por convección - coeficiente de transferencia  $h_a$*

Se hace el análisis para convección natural, se halla la temperatura filmica, entre la temperatura en el espacio anular y la temperatura de la pared interna:

$$T_f = \frac{T_a + T_3}{2} = \frac{85 + 75}{2} = 80 [^\circ C] = 353 [^\circ K]$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{353} = 2,83 \times 10^{-3} [K^{-1}]$$

Tabla 20-3: Propiedades del aire a temperatura fílmica (80 °C)

Temperatura	Conductividad térmlca (k)	Viscosidad cinemática (v)	Número de Prandtl (Pr)
°C	$\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$	$\left[ \frac{m^2}{s} \right]$	[adimensional]
<b>80</b>	0,02953	2,097 e-5	0,7154

Fuente: (YUNUS, 2011, pág. 435)

$$G_{RL} = \frac{g * \beta (T_a - T_3) L_c^3}{\nu^2} \quad (17)$$

$$L_c = \frac{0,3 * 0,4}{2 * 0,3 + 2 * 0,4} = 0,085714 [m]$$

$$G_{RL} = 397164,97$$

$$Ra = G_{RL} * Pr \quad (18)$$

$$Ra = 284131,82$$

Según la Tabla 9-1 de Yunus Cengel (2011), para un Rayleigh comprendido entre  $10^4$  y  $10^9$ , para superficies verticales se toma en cuenta la siguiente expresión para el cálculo del número de Nusselt.

$$Nu = 0,59 * Ra^{1/4} \quad (19)$$

$$Nu = 13,62 [\text{Adimensional}]$$

$$Nu = \frac{h L_c}{k} \quad (20)$$

$$h_a = \frac{Nu k}{L_c} = 4,69 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$\frac{1}{h_a A} = \frac{1}{4,69 (0,12)} = 1,77 \left[ \frac{^{\circ}K}{W} \right]$$

3.5.4.14 Resistencia térmica debido al acero galvanizado interior

$$\frac{e}{k_{acerog} A} = \frac{7 * 10^{-4} m}{53 \frac{W}{m^{\circ}K} * 0,12 m^2} = 1,1 * 10^{-4} \left[ \frac{^{\circ}K}{W} \right]$$

3.5.4.15 Resistencia térmica debido al aislante térmico (lana de vidrio)

$$\frac{e_{lanav}}{k_{lanav} A} = \frac{0,0254 m}{0,043 \frac{W}{m^{\circ}K} * 0,12 m^2} = 4,92 \left[ \frac{^{\circ}K}{W} \right]$$

3.5.4.16 Resistencia térmica debido al acero galvanizado exterior

$$\frac{e}{k_5 A} = \frac{7 * 10^{-4} m}{53 \frac{W}{m^{\circ}K} * 0,14 m^2} = 9,43 * 10^{-4} \left[ \frac{^{\circ}K}{W} \right]$$

3.5.4.17 Resistencia térmica por convección debido al viento coeficiente de transferencia  $h_e$

$$T_f = \frac{T_{ext} + T_{amb}}{2} = \frac{28 + 37}{2} = 32,5 [^{\circ}C] = 305,5 [^{\circ}K]$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} \tag{21}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{305,5} = 3,27 * 10^{-3} [K^{-1}]$$

Propiedades del aire a temperatura fílmica de 20 °C

Tabla 21-3: Propiedades del aire a temperatura fílmica (32,5 °C)

Temperatura	Conductividad térmica (k)	Viscosidad cinemática (v)	Número de Prandtl (Pr)
°C	$\left[ \frac{W}{m^{\circ}K} \right]$	$\left[ \frac{m^2}{s} \right]$	[adimensional]
<b>30</b>	0,02588	1,608 e-5	0,7282

Tabla 22-3: (Continuación) Propiedades del aire a temperatura fílmica (32,5 °C)

32,5	X1	X2	X3
35	0,02625	1,895 e-5	0,7268

Fuente: (YUNUS, 2011, pág. 435)

$$x1 = k_{aire} = 0,02606 \left[ \frac{W}{m^{\circ}K} \right]$$

$$x2 = \nu = 1,7515 * 10^{-5} \left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

$$x3 = Pr = 0,7275$$

$$G_{RL} = \frac{g * \beta(T_a - T_3)L_c^3}{\nu^2} \quad (22)$$

$$L_c = \frac{0,14}{1,62} = 0,0864 [m]$$

$$G_{RL} = 606369,4$$

$$Ra = G_{RL} * Pr$$

$$Ra = 441133,7$$

#### 3.5.4.18 Cálculo de Nusselt para superficies verticales

$$Nu = 0,59 * Ra^{1/4} \quad (23)$$

$$Nu = 15,2$$

$$Nu = \frac{hL_c}{k} \quad (24)$$



$$h_a = \frac{Nuk}{L_c} = 4,58 \left[ \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} \right]$$

$$\frac{1}{h_a A} = \frac{1}{4,58 (0,14)} = 1,55 \left[ \frac{^\circ K}{W} \right]$$

Suma total de las resistencias

$$R = \frac{1}{h_i A_1} + \frac{e}{k_{al} A_2} + \frac{1}{h_a A_3} + \frac{e}{k_{acerog} A_3} + \frac{e_{lanav}}{k_{lanav} A_4} + \frac{e}{k_{acerog} A_5} + \frac{1}{h_v A_6}$$

$$R = 3,05 + 4,504 * 10^{-5} + 1,77 + 1,1 * 10^{-4} + 4,92 + 9,43 * 10^{-4} + 1,55$$

$$R = 11,29 \left[ \frac{^\circ K}{W} \right]$$

$$U_{pa} = \frac{1}{R * A} \quad (25)$$

$$U_{pa} = \frac{1}{R * A} = \frac{1}{11,29 * 0,07}$$

$$U_{pa} = 1,26 \left[ \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} \right]$$

3.5.4.19 *Transferencia de calor por convección entre el interior del horno y el interior de la cubierta de vidrio*

$$Q_{abs-cub} = A_{cub} * h_{int} (T_i - T_{iv}) \quad (26)$$

Donde:

$Q_{abs-cub}$ : Calor por convección entre el interior del horno y la cubierta de vidrio  
[W]

$A_{cub}$ : Área de la cubierta [m<sup>2</sup>]

$h_i$ : Coeficiente de convección interno [ $W/m^2\text{°K}$ ]

$T_i$ : Temperatura interior del horno [ $\text{°K}$ ]

$T_{iv}$ : Temperatura de la cubierta de vidrio [ $\text{°K}$ ]

$$T_f = \frac{T_i + T_{iv}}{2} \quad (27)$$

$$T_f = \frac{T_i + T_{iv}}{2} = \frac{113 + 50}{2} = 81,5 [\text{°C}] = 354,5 [\text{°K}]$$

Tabla 23-3: Propiedades a temperatura filmica (81,5°C)

Temperatura	Conductividad térmlca (k)	Viscosidad cinemática (v)	Número de Prandtl (Pr)
°C	$\left[\frac{W}{m\text{°K}}\right]$	$\left[\frac{m^2}{s}\right]$	[adimensional]
80	0,02953	2,097 e-5	0,7154
81,5	X 1	X 2	X 3
90	0,03024	2,201 e-5	0,7132

Fuente: (YUNUS, 2011, pág. 435)

$$X 1 = k_{aire} = 0,02963 \left[\frac{W}{m\text{°K}}\right]$$

$$X 2 = \nu = 2,1126 * 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s}\right]$$

$$X 3 = Pr = 0,7150$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{354,5} = 2,82 * 10^{-3}$$

$$L_c = \frac{A_{cub}}{p_{cub}} = \frac{0,26 m^2}{2,1 m} = 0,1238 m$$

$$G_{RL} = \frac{g * \beta(T_i - T_{iv})L_c^3}{\nu^2} = \frac{9,8 * 2,82 * 10^{-3}(113 - 50)0,123^3}{(2,1126 * 10^{-5})^2}$$

$$G_{RL} = 6741009,2$$

$$Ra = G_{RL} * Pr$$

$$Ra = 4819821,58$$

Según la Tabla 9-1 de Yunus Cengel (2011), para un Rayleigh comprendido entre  $10^5$  y  $10^{11}$ , con una superficie caliente hacia abajo se toma en cuenta la siguiente expresión para el cálculo del número de Nusselt.

$$Nu = 0,27 * Ra^{1/4} = 12,65 \text{ [adimensional]} \quad (28)$$

$$h_{int} = \frac{Nu \cdot k}{L_c} = \frac{12,65 * 0,02963}{0,12}$$

$$h_{int} = 3,12 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$Q_{abs-cub} = 0,26 * 3,12 * (113 - 50)$$

$$Q_{abs-cub} = 51,1 \text{ [W]}$$

3.5.4.20 *Transferencia de calor por radiación entre la cubierta de vidrio y la superficie negra*

$$Q_{cub-abs} = \frac{A_{cub} * \sigma * F_{supnegra-cub}}{\frac{1}{\epsilon_v} + \frac{1}{\epsilon_{supnegra}} - 1} \left[ (T_{supnegra})^4 - (T_{cub})^4 \right] \quad (29)$$

Donde:

$\sigma$ : Constante de Stephan – Boltzman [ $5,669 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ ]

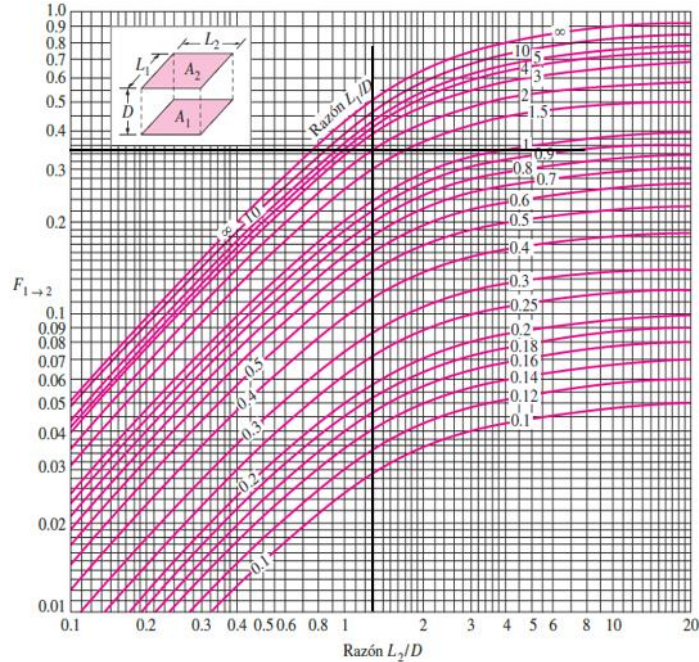
$F_{cub-abs}$ : Factor de forma [adimensional]

$\epsilon_v$ : Emisividad del vidrio [adimensional]

$\epsilon_{supnegra}$ : Emisividad de la superficie negra [adimensional]

$$\frac{L_2}{D} = \frac{0,4 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} = 1,33 \qquad \frac{L_1}{D} = \frac{0,6 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} = 2$$

Gráfica 6-3: Factor de visión entre dos rectángulos paralelos alineados de igual tamaño



Fuente: (YUNUS, 2011, pág. 356)

$$F_{cub-abs} = 0,35$$

$$Q_{cub-abs} = \frac{0,26(5,669 * 10^{-8})(0,35)}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,1} - 1} [388^4 - 323^4]$$

$$Q_{supnegra-cub} = 6,01 \text{ [W]}$$

### 3.5.4.21 Pérdidas de calor por convección desde la cubierta de vidrio hacia el ambiente

Se realiza un análisis de convección forzada debido a que se tiene la velocidad de un fluido en este caso el viento:

$$Q_{cub-amb} = h_v * A_{cub}(T_{ev} - T_{amb}) \qquad (30)$$

$$Q_{cub-amb} = h_v * A_{cub}(T_{ev} - T_{amb})$$

$$T_f = \frac{T_{ev} + T_{amb}}{2} = \frac{45 + 37}{2} = 41 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabla 24-3: Propiedades a temperatura fílmica (72 °C)

Temperatura	Conductividad térmica (k)	Viscosidad cinemática (v)	Número de Prandtl (Pr)
°C	$\left[\frac{W}{m^\circ K}\right]$	$\left[\frac{m^2}{s}\right]$	[adimensional]
<b>40</b>	0,02662	1,702 e-5	0,7255
<b>41</b>	<b>X 1</b>	<b>X 2</b>	<b>X 3</b>
<b>45</b>	0,02699	1,750 e-5	0,7241

Fuente: (YUNUS, 2011)

Propiedades del aire a temperatura fílmica

$$X\ 1 = k_{aire} = 0,02667 \left[\frac{W}{m^\circ K}\right]$$

$$X\ 2 = \nu = 1,7092 * 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s}\right]$$

$$X\ 3 = Pr = 0,7252$$

#### 3.5.4.22 Cálculo de Reynolds

$$Re_L = \frac{VL}{\nu} \tag{31}$$

Donde:

V: Velocidad del fluido [m/s<sup>2</sup>]

L: Longitud de la cubierta [m]

ν: Viscosidad cinemática [m<sup>2</sup>/s]

$$Re_L = \frac{(2,5)(0,6)}{1,7092 * 10^{-5}} = 8,776 * 10^4$$

Según Yunus, Cengel (2011), para un Rayleigh menor a  $5 * 10^5$ , con una superficie horizontal caliente hacia arriba en convección forzada se toma en cuenta la siguiente expresión para el cálculo del número de Nusselt.

$$Nu = 0,664 * Re^{0,5} * Pr^{1/3} \quad (32)$$

$$Nu = 0,664 * (8,776 * 10^4)^{0,5} (0,7252)^{1/3}$$

$$Nu = 176,727$$

$$h_v = \frac{Nuk}{L_c} = \frac{176,727 * 0,026028}{0,6}$$

$$h_v = 7,855 \left[ \frac{W}{m^2 \circ K} \right]$$

#### 3.5.4.23 Pérdida de calor por convección

$$Q_{cub-amb} = 7,866 * 0,26(45 - 37)$$

$$Q_{cub-amb} = 16,33 [W]$$

$$Q_{pérididototal} = 51,1 - 6,01 + 16,33 = 61,42 [W]$$

$$U_{cub} = \frac{Q_{pérididototal}}{A_{supnegra}(T_{supnegra} - T_{amb})} = \frac{61,42}{0,0741 * (115 - 37)}$$

Donde:

$U_{cub}$ : Coeficiente de pérdidas de calor debido a la cubierta

$$U_{cub} = 10,62 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$U_{total} = U_{cub} + U_{pa} = 10,62 + 1,26 * 4$$

$$U_{total} = 15,6 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

#### 3.5.4.24 Calor útil generado por la cocina solar

$$q_u = q_{abs} - U_{total}(T_{supabs} - T_{amb})A_c$$

$$q_u = 186,18 - 15,6(115 - 37) * 0,0741$$

$$q_u = 96,15 [W]$$

#### 3.5.5 Eficiencia térmica de la cocina electro solar

La eficiencia de la cocina electro solar se define por la relación entre el calor útil generado y la energía incidente que es la densidad de energía solar sobre su superficie. (BENAVIDES, 2016, pág. 60)

$$\eta_c = \frac{\text{Calor útil generado}}{\text{Energía captada}} = \frac{q_u}{I * A_a} \quad (33)$$

Donde:

$q_u$ : Calor útil que absorbe el fluido de trabajo [W]

$I$ : Insolación en Riobamba [W/m<sup>2</sup>] (ver apartado 3.5.2)

$A_a$ : Área de apertura [m<sup>2</sup>]

$$\eta_c = \frac{96,15}{710,57 * 0,4541} = 0,299$$

$$\eta_c \approx 30 \%$$

### 3.5.6 *Cálculo del calor de radiación en superficies reales, generado por la cocina solar.*

Según Yunus A. Cengel (2011), en su libro de transferencia de calor, menciona que para encontrar el calor útil generado se utiliza la siguiente fórmula:

$$q_u = [\varepsilon * E_b + (1 - \varepsilon)] * A \quad (34)$$

Donde:

$\varepsilon$ : Emisividad de la superficie negra

$A$ : Área de la superficie negra

$E_b$ : Poder de Emisión

$\sigma$ : Constante de Stephan – Boltzman [ $5,669 * 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ]

$T_{sup}$ : Temperatura de la superficie negra [ $115 \text{ °C} = 388 \text{ °K}$ ]

$$E_b = \sigma * T_{sup}^4 \quad (35)$$

$$E_b = 5,669 * 10^{-8} * 388^4$$

$$E_b = 1284,79 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$q_u = [0,97 * 1284,79 + (1 - 0,97)] * 0,0741$$

$$q_u = 92,35 \text{ [W]}$$

Como se puede apreciar el calor útil generado por la cocina solar calculado con las fuentes mencionadas, no dista mucho con el método propuesto en apartado 3.5.4



### 3.5.7 *Calor total generado con la integración de la resistencia eléctrica*

$$q_T = q_r + q_u \quad (36)$$

Donde:

$q_T$ : Calor total generado con la integración de la resistencia eléctrica

$q_r$ : Calor generado por la resistencia eléctrica [1000 W]

$q_u$ : Calor útil generado por la cocina solar [96,15 W]

$$q_T = 1000 + 96,15$$

$$q_T = 1096,15 \text{ [W]}$$

### 3.5.8 *Cálculo de los paneles en la cocina electro solar*

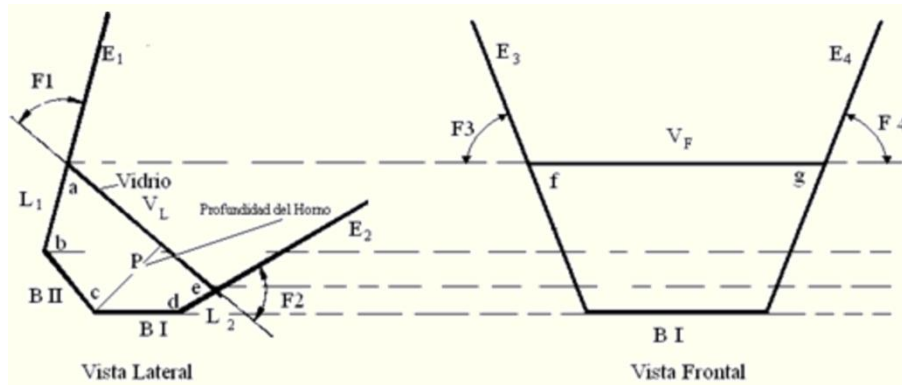
Para le dimensionamiento de los panes en la cocina solar de utilizo la información encontrada en un sitio web denominada cuba solar, la cual recomienda los pasos a seguir.

- Facilidad de uso y operación (sin necesidad de ajustes diarios y con pocos movimientos a lo largo del año).
- Diseño geométrico optimizado para la región intertropical.
- Razón de concentración solar entre 2,0 y 2,5, con tiempo de operación para llevar a cabo la cocción de alimentos de 10:00 a 14:00 h.
- Capacidad para la cocción de alimentos de 4 raciones.
- Facilidad en su construcción mediante corte y doblado de lámina (se incluyen los espejos y la caja como una sola estructura).
- Debido a su facilidad de construcción, los costos asociados se pueden reducir mediante la producción en serie. (RÍO & JARAMILLO, 2014)

Con estas recomendaciones se pretende obtener una forma geométrica de la cocina solar y la disposición de los espejos que permiten una adecuada captación de la energía solar mediante su colocación.

En la figura 33 se muestra las características a dimensionar para la cocina solar.

Figura 33-3: Dimensiones de los angulos reflectores



Fuente: (RÍO & JARAMILLO, 2014)

Para la realización de la estructura de la cocina solar tipo cajón, que permite una correcta orientación y asegurar la máxima incidencia solar, se considera los puntos extremos en el ángulo de altitud solar  $\alpha$  a lo largo del año y al día medio solar  $\omega = 0$ . (RÍO & JARAMILLO, 2014)

$$\sin \alpha = (\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \cos \delta) \quad (36)$$

Donde:

$\Phi$ : Latitud del lugar 1h, 38min [1,633]. (JIMÉNEZ & PORTALANZA, 2009)

$\Delta$ : Solsticios en invierno [23,45]. (TELÉGRAFO, 2012)

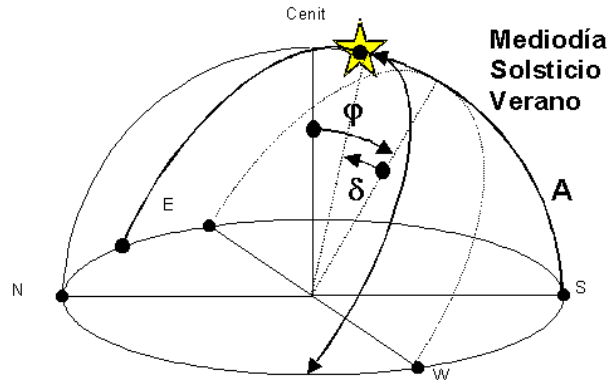
$\Delta$ : Solsticios en verano [-23,45]. (TELÉGRAFO, 2012)

$\Omega$ : Medio día solar [0]. (El sol pasa por el cenit)

Cenit. - Cuando el sol ocupa el punto más elevado sobre el horizonte, el punto más alto en el cielo con relación al observador y se encuentra justo sobre la cabeza de este (90°)

Con estos datos y la ecuación A se observa que el sol toma el ángulo más bajo cuando  $\delta = -23,45$ ; al transcurrir los días y en dependencia de la latitud del lugar, el Sol llega al cenit y empieza a apuntar en dirección del hemisferio donde se localiza el observador.

Figura 34-3: Solsticio y cenit



Fuente: (RÍO & JARAMILLO, 2014)

En la figura 34 se observa la consideración que se tomó a la cocina solar, esta debería ofrecer dos caras para el intervalo desde el solsticio de invierno hasta que el sol pase por el cenit, y el período desde el paso por el cenit hasta el ángulo máximo de altura solar.

$$\sin \alpha = (\cos(1,633) * \cos(23,45) * \cos(0) + \sin(1,633) \cos(23,45)) = 0,92836$$

$$\alpha = 68,18$$

$$\sin \alpha = (\cos(1,633) * \cos(-23,45) * \cos(0) + \sin(1,633) \cos(-23,45)) = 0,90572$$

$$\alpha = 64,92$$

Por lo que se obtiene los valores de ángulos máximo y mínimo como se indica a continuación:  $\alpha \text{ máx} = 70$ ;  $\alpha \text{ cenit} = 90$ ;  $\alpha \text{ min} = 70$

Para el cálculo de los ángulos F3 y F4 que se muestran en la figura 41 se utiliza las siguientes expresiones. (RÍO & JARAMILLO, 2014)

Cálculo de F3:

$$F_3 = \frac{\frac{1}{2}\alpha_{max} + (135^\circ - \frac{1}{2}\alpha_{max})}{2} \quad (37)$$

$$F_3 = \frac{\frac{1}{2} * 70 + (135^\circ - \frac{1}{2} * 70)}{2} = 67,5$$

Se toma como valor de F3 de 70, por facilidad de construcción.

$$F_4 = \frac{45 + \frac{1}{2}(180 - \alpha_{max}) + \frac{1}{2}\alpha_{max}}{2} \quad (38)$$

$$F_4 = \frac{45 + \frac{1}{2}(180 - 70) + \frac{1}{2} * 70}{2} = 66,25$$

Se toma como valor de F4 de 70, por facilidad de construcción. Donde F3 y F4 son los ángulos de inclinación respecto a la horizontal de los paneles extras. Estos paneles se deben ubicar en la dirección Este-Oeste, para q la captación de los rayos solares sea de forma directa según el posicionamiento del sol en el transcurso del día.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE LA COCINA ELECTRO SOLAR

#### 4.1 Construcción de la cocina electro solar

Para el proceso de construcción, montaje y pruebas de la cocina electro solar se utilizaron las siguientes máquinas y herramientas las cuales se indican en la siguiente tabla.

Tabla 25-4: Máquinas y herramientas

<b>Maquinas</b>	<b>Herramientas</b>
Soldadora de arco	Cortadora de sierra
Compresor	Flexómetro
Soldadora de alta frecuencia TIG.	Amoladora
	Taladro de mano
	Remaches
	Escuadras
	Martillo
	Prensa manual
	Brocas
	Lima


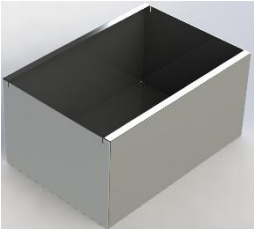
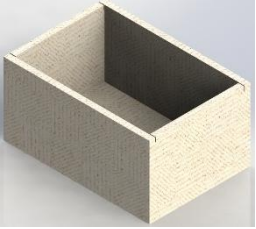
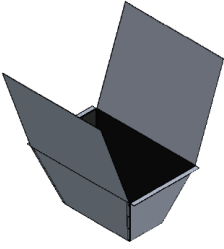


Fuente: Autor

#### 4.2 Componentes de la cocina electro solar y la tecnología de su construcción

El proceso de la construcción se realizó en distintas etapas, para mejorar el tiempo implementado y el uso de los recursos

La cocina electro solar se compone de 5 elementos principales, las cuales se muestran a continuación en la Tabla 23:

Tabla 26-4: Sistemas de la cocina electro solar

Sistemas	Esquema
Estructura Base	
Carcasa	
Aislante	
Caja de Aluminio	
Tapa	
Cocina Eléctrica	

Fuente: Autor

### 4.3 Procedimiento de construcción

A continuación, en la Tabla 24 se muestra las partes y elementos que conforman la cocina electro solar y de igual manera el tipo de material implementado.

Tabla 27-4: Elementos y partes de la cocina electro solar.

Partes		Cantidad	Material/Modelo
Estructura Base		1	ASTM A-36 Perfil angular 20x20x2mm
Carcasa		1	Plancha Galvanizado G 60 ASTM A653 de 1mm
Aislante		1	Aíslate térmico, Lana de vidrio de espesor=e=25,4 mm
Caja de Aluminio		1	Aluminio ASTM A 1100, e=0,7 mm
Tapa	Base	1	Acero inoxidable
	Vidrio	1	Vidrio templado e= 3mm
Resistencia Eléctrica		1	Potencia= 1000w

Fuente: Autor

#### 4.3.1 Tiempos de construcción de la cocina electro solar.

En la Tabla 25 se detalla el tiempo empleado en construir cada elemento que conforma la cocina electro solar.

Tabla 28-4: Tiempos de construcción de la cocina electro solar

Sistemas	Operaciones	Tiempo (h:m:s)
<b>Estructura Base</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Toma de medidas</li> <li>2. Corte</li> <li>3. Pre soldado</li> <li>4. Escuadrado</li> <li>5. Soldado</li> <li>6. Pulido</li> </ol>	1:00:00

Tabla 29-4: (Continuación) Tiempos de construcción de la cocina electro solar

<b>Carcasa</b>		1. Toma de medidas 2. Corte 3. Doblado 4. Escuadrado 5. Pre soldado 6. Soldado 7. Pulido	1:20:00
<b>Aislante</b>		8. Toma de medidas 9. Corte 10. Colocación	0:40:00
<b>Caja de Aluminio</b>		11. Toma de medidas 12. Corte 13. Doblado 14. Escuadrado 15. Taladrado 16. Remachado 17. Pulido	1:20:00
<b>Tapa</b>	<b>Marco</b>	18. Toma de medidas 19. Corte 20. Pre soldado 21. Escuadrado 22. Soldado 23. Pulido	1:15:00
	<b>Vidrio</b>	24. Toma de medidas 25. Corte 26. Colocado	1:10:00
<b>Cocina Eléctrica</b>		27. Seleccionado 28. Comprado 29. Colocado	3:30:00
<b>Total</b>			10:15:00

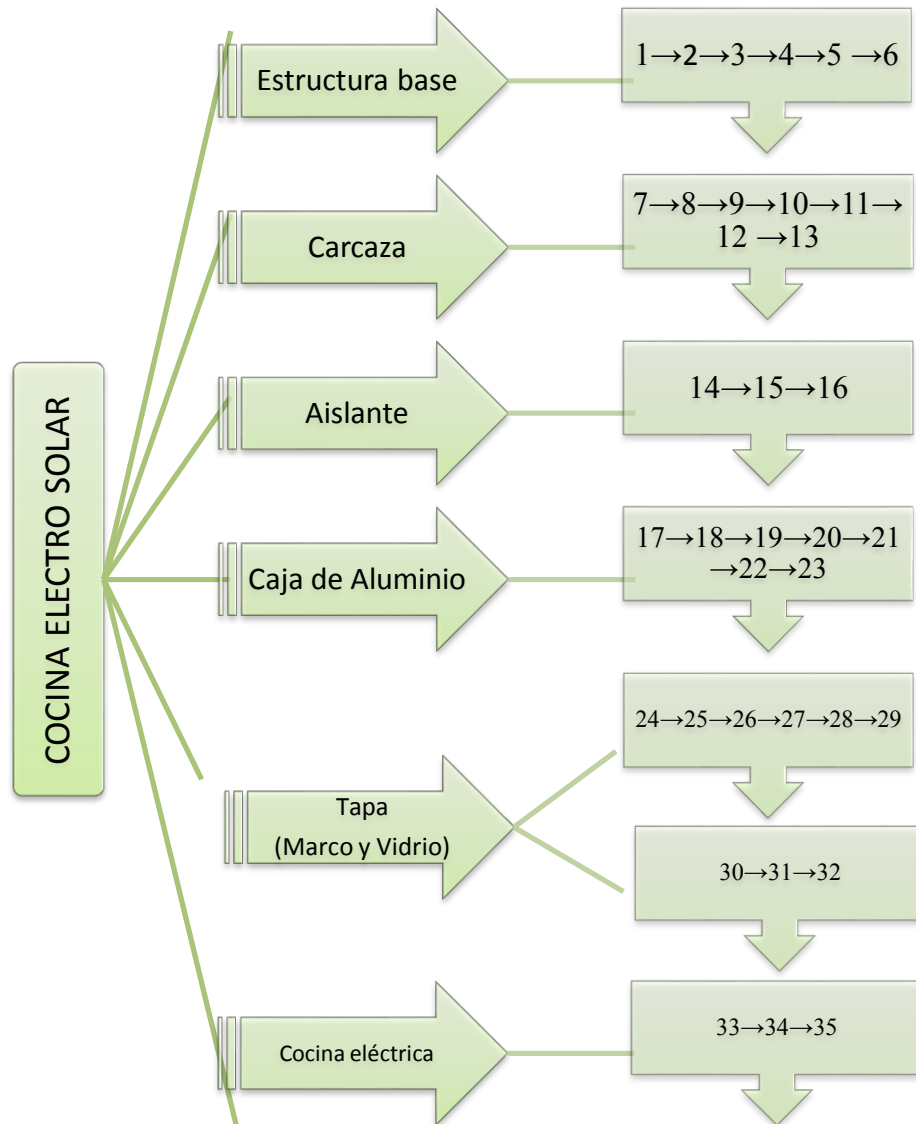
Fuente: Autor



### 4.3.2 *Flujograma de construcción*

En este apartado se indica la secuencia al momento de la construcción, de acuerdo con las partes, en la Figura 35 se detalla la secuencialmente las partes de la cocina, así como la numeración de las operaciones.

Figura 35-4: Flujograma de construcción de la cocina solar



Fuente: Autor

Como producto final se obtuvo la cocina electro solar como se muestra en la Figura 36.

Figura 36-4: Cocina electro solar



Fuente: Autor

#### 4.4 Montaje de la cocina solar

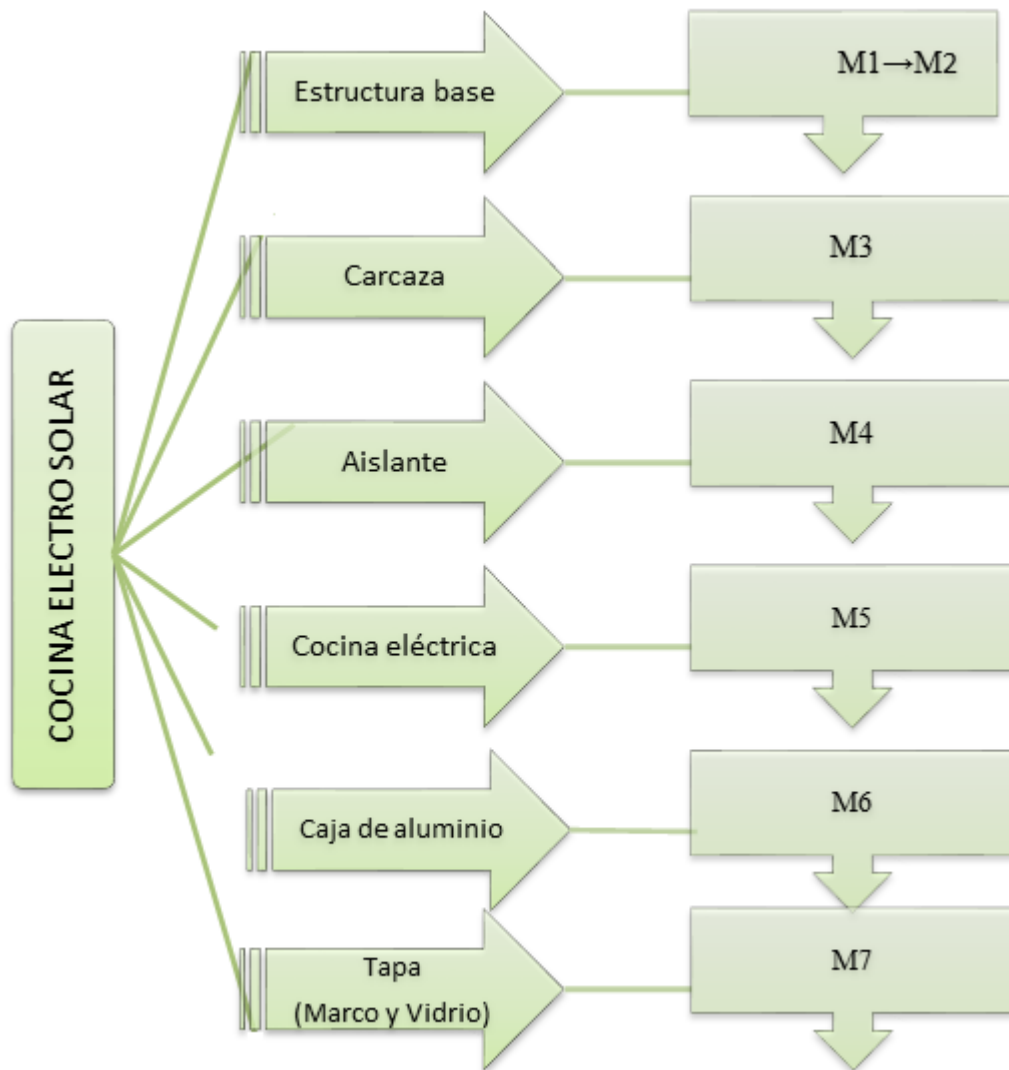
El proceso de montaje detalla el tiempo en unir cada parte hasta llegar al conjunto total, en la Tabla 26 se indica cómo se realizó el montaje de la cocina solar

Tabla 30-4: Montaje de la cocina electro solar

Montaje de la cocina electro solar		
Operaciones	Símbolo	Tiempo (h:m:s)
Movilización de los elementos al lugar de trabajo	M1	0:15:00
Montaje de la estructura base	M2	0:10:00
Montaje de la carcasa	M3	0:10:00
Montaje del Aislante	M4	0:10:00
Montaje de la cocina eléctrica	M5	0:10:00
Montaje de la caja de aluminio	M6	0:10:00
Montaje de la Tapa	M7	0:05:00
<b>Total</b>		<b>1:10:00</b>

Fuente: Autor

Figura 37-4: Flujograma del montaje de la cocina electro solar



Fuente: Autor

Seguidamente en la Tabla 27 se indica los tiempos de construcción y montaje.

Tabla 31-4: Tiempos de construcción y montaje.

Operaciones	Tiempo (h:m:s)
Tiempo de montaje	1:10:00
Tiempo de construcción	10:15:00
<b>Tiempo total de construcción de la cocina electro solar</b>	<b>11:25:00</b>

Fuente: Autor

El tiempo que se emplea para la construcción y montaje de la cocina electro solar es de 11:25:00 (h: m: s), tomando en cuenta que las horas de trabajo son de 8 horas diarias, aproximado la cocina estaría lista en 2 días laborables.

#### 4.5 Pruebas de la cocina electro solar

##### 4.5.1 *Plan de pruebas de funcionamiento.*

Se aplicó un procedimiento para comprobar el correcto funcionamiento de la cocina electro solar, se sometió a diferentes pruebas: mañana, medio día y tarde, entre el 01 y 10 de agosto del 2017, dándonos como resultado aceptaciones positivas, así como pequeños inconvenientes.

Para una mejor obtención de datos se utilizó un controlador de temperatura (Rex.C700) el cual posee un sensor para la toma de medidas, las cuales se muestran en una pantalla, así como se indica en la Figura 38.

Figura 38-4: Medidor de temperatura



Fuente: Autor

##### 4.5.1.1 *Pruebas en la mañana.*

Con el objetivo de saber qué grado de temperatura alcanza la cocina electro solar durante este tiempo. En la Tabla 28 se indica los datos de las temperaturas obtenidas en la mañana.

Tabla 32-4: Datos obtenido en la mañana

<b>Mañana</b>			
<b>N° Pruebas</b>	<b>Hora (am)</b>	<b>Tiempo(H)</b>	<b>Temperatura °C</b>
<b>1</b>	10	2	95
<b>2</b>	11	1	110
<b>3</b>	10	2	97
<b>4</b>	11	1	109
<b>5</b>	10	2	96
<b>6</b>	11	1	110

Fuente: Autor

Mediante estos datos se observa como temperatura máxima 110°C y como temperatura mínima 95 °C, dándonos como temperatura promedio de 102.8 °C que se obtuvo durante la mañana.

#### 4.5.1.2 Pruebas a medio día.

En este punto, el sol está ubicado en su máximo esplendor en cuanto a la dirección de sus rayos y nos proporciona mayor cantidad de energía. En la Tabla 29 se muestra los resultados de la prueba el medio día.

Tabla 33-4: Prueba a medio día

<b>Medio día</b>			
<b>N° Pruebas</b>	<b>Hora (pm)</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Temperatura C</b>
1	12	2	113
2	1	1	112
3	12	2	112
4	1	1	110
5	12	2	113
6	1	1	111

Fuente: Autor

En estos datos se observa una temperatura máxima 113 °C y como temperatura mínima 110 °C, y como temperatura promedio de 111.8 °C que se obtuvo durante el mediodía.

#### 4.5.1.3 Pruebas en la tarde.

Esta prueba se realizó para complementar la temperatura que puede alcanzar la cocina durante el día con el objetivo saber a qué grado de temperatura llegaría la cocina electro solar durante la tarde, tomando en cuenta si esta visible el sol. En la Tabla 30 se muestra los resultados obtenidos.

Tabla 34-4: Datos obtenidos en la tarde

<b>Tarde</b>			
<b>N° Pruebas</b>	<b>Hora (pm)</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Temperatura °C</b>
<b>1</b>	2	2	94
<b>2</b>	3	1	85
<b>3</b>	2	2	97
<b>4</b>	3	1	86
<b>5</b>	2	2	95
<b>6</b>	3	1	84

Fuente: Autor

Los datos que se observa como temperatura máxima 97 °C y como temperatura mínima 84 °C, dándonos como temperatura promedio de 90.16 °C que se obtuvo durante la tarde.

#### 4.5.2 Pruebas de la cocina con la resistencia

Aquí se puso en funcionamiento la cocina eléctrica como una ayuda para aumentar el calor cuando hay ausencia del sol, lo que frecuentemente ocurre en las horas de la tarde. En la Tabla 31 se indica las temperaturas alcanzadas

Tabla 35-4: Datos obtenidos con la ayuda de la resistencia.

<b>Cocina solar y eléctrica</b>			
	<b>N° Pruebas</b>	<b>Hora (pm)</b>	<b>Temperatura</b>
<b>Tarde</b>	1	2:30	122
	2	2:30	123

Fuente: Autor

### 4.5.3 Verificación de los requerimientos

Para seleccionar las alternativas se considera como elemento principal el criterio del usuario, del cual se conoce los requerimientos y características que se desea del diseño de la cocina para pasarlos a criterios técnicos.

Una vez en el proceso de construcción, se revisa las condiciones necesarias expuestas en el diseño ya que es muy importante ir comprobando si se está cumpliendo con todos los requerimientos establecidos.

#### 4.5.3.1 Verificación de los requerimientos deseados por el usuario (voz del usuario)

En la Tabla 32 se describe si se cumple o no los requerimientos del usuario.

Tabla 36-4: Verificación de los requerimientos de usuario

<b>VOZ DEL USUARIO</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>
Sea pequeña y ligera		X
Cocción total de los alimentos	X	
Tenga bajo costo		X
Fácil mantenimiento.		X
Amigable con el ambiente	X	
Facilidad de uso	X	
Durabilidad	X	

Fuente: Autor

#### 4.5.3.2 Verificación del criterio del ingeniero (voz del ingeniero)

En la Tabla 33 se describe si se cumple o no los criterios técnicos del ingeniero.

Tabla 37-4: Verificación del criterio del ingeniero (voz del ingeniero)

<b>VOZ DEL INGENIERO</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>
Dimensiones del equipo		X
Sistema Auxiliar	X	
Manufactura		X
Estructura de la cocina	X	
Tipo de Energía	X	
Funcionamiento	X	
Materiales Resistentes	X	






Fuente: Autor

Con los resultados obtenidos en las tablas de la voz del usuario y del ingeniero se ha logrado cumplir en su gran mayoría con los objetivos técnicos planteados.

#### 4.6 Análisis comparativo de la cocina electro solar propuesta con otros modelos diseñados

En la Tabla 34 se puede apreciar que las cocinas solares parabólicas alcanzan mayores temperaturas, una desventaja es que se debe re direccionar según la dirección del sol y presenta mayores dificultades de manipulación para el usuario. Para la experimentación de la cocina propuesta, las condiciones climáticas no fueron las mejores, ocasionando que las temperaturas no sean muy altas, sin embargo, la temperatura alcanzada es suficiente para lograr la cocción de varios tipos de alimentos.

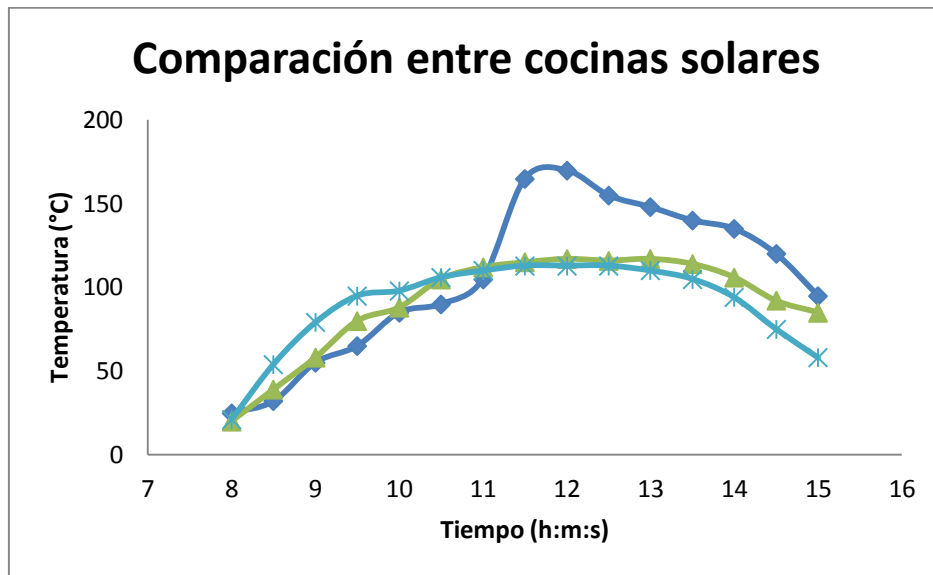
Tabla 38-4: Comparación de cocinas solares

Análisis Comparativo con otras Cocinas Solares				
Tipo de Cocina	Autor(es)	Cocina	Sitio de Ensayos	Temperatura Maxima Alcanzada
Cocina solar Parabólica (1)	Carlos Gonzales Mozo Enrique Gonzales Gonzales		España	126,6 °C
Cocina solar Parabólica (2)	Jose Samuel Castro Pineda		San Salvador	175 °C
Cocina Solar Tipo Cajón (3)	Jorge Juan Olmo Alcázar		Haití	125 °C
Cocina Solar Tipo Cajón (4)	Patricia Llaique Herreros Malena Salinas Portilla Fabiola Zúñiga Ramírez Manuel Rodríguez Zúñiga		Perú	116,9 °C
Cocina electro solar (5)	Verny Resabala		Ecuador	113 °C

Fuente: Autor



Gráfica 7-4: Comparación entre cocinas solares



Fuente: Autor

En la gráfica 7 se observa los diferentes valores de temperaturas que alcanzan las cocinas solares según el tiempo transcurrido, dando a conocer que las temperaturas de las cocinas tipo cajón son menores a comparación de la cocina solar tipo parabólica. De color azul se observa la cocina solar parabólica elaborada por (CASTRO, 2014), de color verde se puede apreciar la curva de temperatura desarrollada por la cocina solar de cajón fabricada por (HERREROS, 2013) y la curva de temperatura de color celeste es la alcanzada por el proyecto de cocina electro solar.

#### 4.7 Análisis energético entre cocinas de inducción, GLP y solar

Para el siguiente análisis, se tomaron 3 muestras (carne de res, pollo y pescado) las cuales fueron puestas a cocción en la cocina electro solar, con lo cual se determinaron los tiempos de cocción de los distintos productos sin utilizar la resistencia eléctrica, de esta manera se evaluará el consumo de energía comparándolo con los otros medios de cocción que se utilizan en la actualidad, como lo son la cocina de GLP y la cocina de Inducción.

Los datos de los tiempos de cocción y de consumo de energía en [Kwh] de los tres productos mediante los otros mecanismos (GLP e Inducción), fueron tomados del estudio que lleva como título: “*Estudio de eficiencia energética en menús completos de la Sierra Elaborados en cocinas de inducción y GLP*” realizado por la Ingeniera en

Gastronomía Estefanía Álvarez Cuadros, (ALVAREZ CUADROS, 2015), estos se comparan en la siguiente tabla:

Tabla 39-4: Tiempos de cocción de los tres mecanismos.

<b>Análisis de tiempos de cocción (1 porción) (h:m:s)</b>			
<b>Tipos de Cocina</b>	<b>Carne de Res</b>	<b>Pollo</b>	<b>Pescado</b>
<b>Cocina de GLP</b>	17:00:00	10:00:00	08:00:00
<b>Cocina de Inducción</b>	10:00:00	07:00:00	4:00:00
<b>Cocina Electro Solar</b>	120:00:00	100:00:00	80:00:00

Fuente: Autor

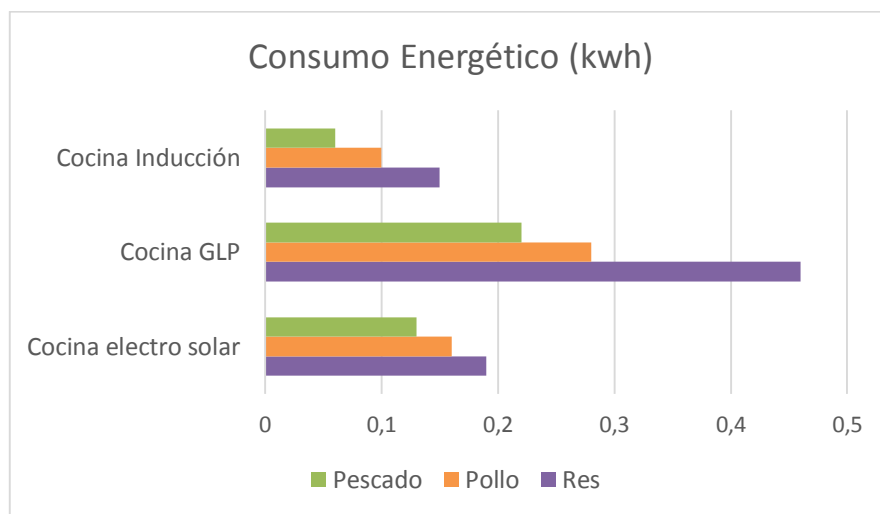
Procedemos a obtener el consumo energético de la cocina electro solar, conociendo los tiempos medidos se multiplica por la energía generada por la cocina que es de  $q_u = 98.32$  [W] y se transforma posteriormente a las unidades de [kwh]. Obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 36.

Tabla 40-4: Consumo Energético de los tres mecanismos.

<b>Análisis de Consumo Energético (Kwh)</b>			
<b>Tipos de Cocina</b>	<b>Carne de Res</b>	<b>Pollo</b>	<b>Pescado</b>
<b>Cocina de GLP</b>	0.46	0.28	0.22
<b>Cocina de Inducción</b>	0.15	0.1	0.06
<b>Cocina Electro Solar</b>	0.19	0.16	0.13

Fuente: Autor

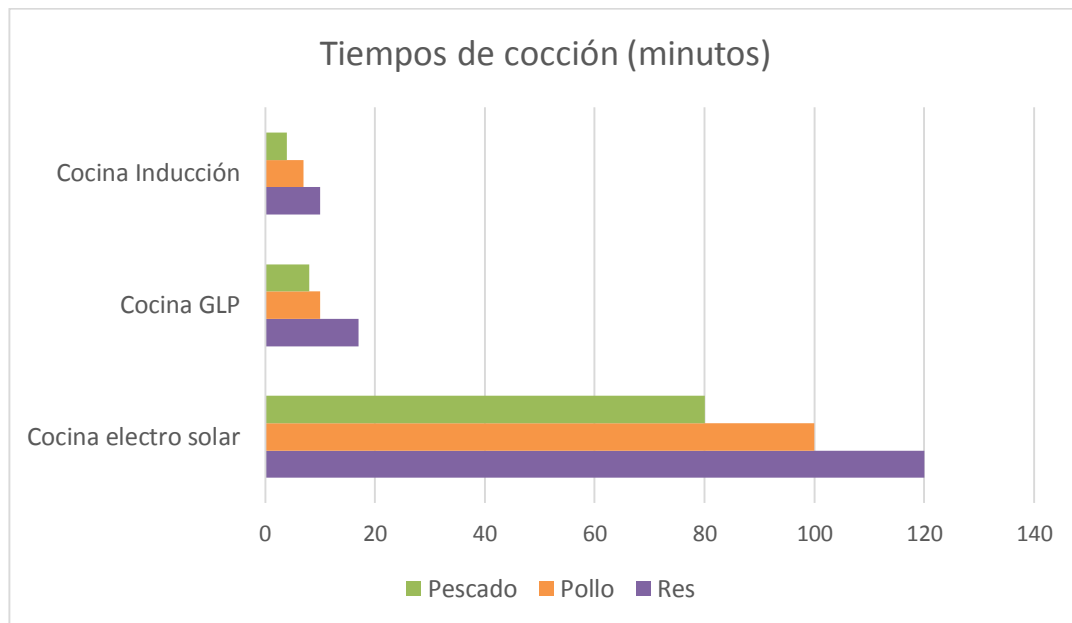
Gráfica 8-4: Consumo energético



Fuente: Autor

El potencia energética requerida para la cocción de los alimentos por la cocina electro solar es menor comparándola con la cocina de GLP, pero el tiempo de preparación de los alimentos en la misma es mayor que la de los otros dos mecanismos, tal como se muestra en la siguiente gráfica.

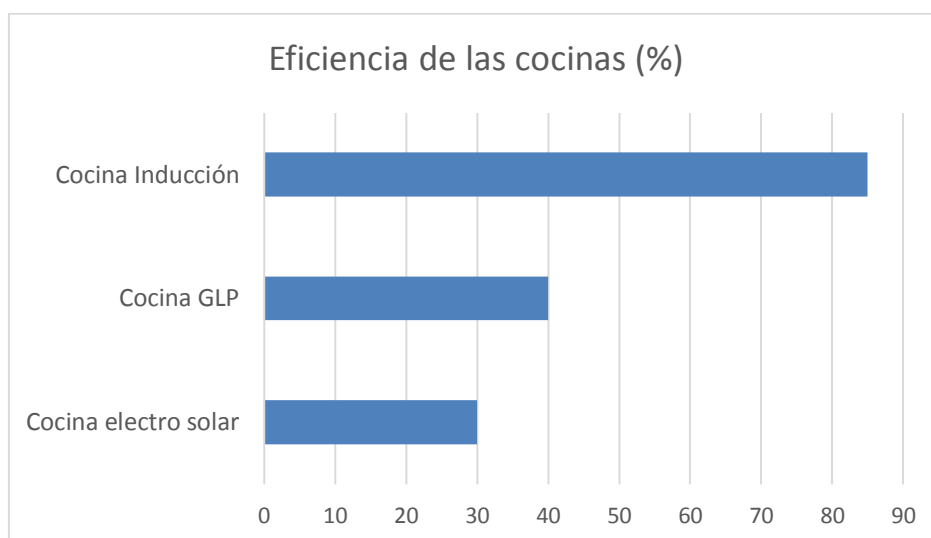
Gráfica 9-4: Tiempos de cocción



Fuente: Autor

Esto se debe a que la eficiencia de la cocina electro solar es apenas del 30%, mientras que la eficiencia de la cocina de GLP y de inducción es de 40% y 85% respectivamente, tal como se muestra en la gráfica 10, datos tomados del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. El flujo de calor de los otros mecanismos de cocción convencionales es constante en comparación a la cocina solar, ya que la misma está expuesta a los cambios climáticos, como lo es el movimiento de las nubes que ocultan el sol y el viento que se produce en la localidad que desvían el flujo de radiación, factores que inciden a que calor de la cocina no sea constante y por ello baje su rendimiento.

Gráfica 10-4: Eficiencia de las cocinas



Fuente: Autor

Según el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) la tarifa de la dignidad otorgada a las familias que no superen el consumo de 110 Kwh en la Sierra y los 130 Kwh en la región Costa, Amazonia e Insular es de USD 0,04 por Kwh. El precio oficial del tanque de GLP de 15 Kg es de USD 1,60; dato proporcionado por la página oficial del Ministerio de Hidrocarburos.

Una vez determinados los costos oficiales de cada consumo de energía de los diferentes mecanismos se procede a realizar la siguiente tabla comparativa:

Tabla 41-4: Costo energético de los tres mecanismos.

<b>Análisis de Consumo Energético (\$USD)</b>			
<b>Tipos de Cocina</b>	<b>Carne de Res</b>	<b>Pollo</b>	<b>Pescado</b>
<b>Cocina de GLP</b>	0,052	0,032	0,025
<b>Cocina de Inducción</b>	0,006	0,004	0,0024
<b>Cocina Electro Solar</b>	0	0	0

Fuente: Autor

Los costos evidenciados podrían ser no significativos para el usuario, ya que el análisis se realiza para la cocción de una porción para un solo día. El valor se incrementará proporcionalmente según la utilización que cada usuario le dé a su sistema de cocción

solar, donde la utilización de la cocina electro solar podrá ser de gran beneficio económico ya que el consumo de su energía es gratuito.

## CAPÍTULO V

### 5. MANUAL DE OPERACIONES, DE MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS DE LA COCINA ELECTRO SOLAR.

#### 5.1 Manual de operaciones

El manual de operaciones da a conocer las precauciones que se debe tener, las especificaciones, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento para cada uno de los elementos mecánicos y eléctricos de la cocina electro solar.

##### 5.1.1 *Vista general de la cocina electro solar*

En la figura 39 indica los elementos generales de la cocina.

Figura 39-5: Cocina electro solar



Fuente: Autor

## 5.2 Características de la cocina electro solar

El equipo posee las siguientes características como se indica en la tabla 38.

Tabla 42-5: Características de la cocina electro solar.

<b>COCINA ELECTRO SOLAR</b>		
<b>Características Generales</b>	Dimensiones Generales	
	Alto(Paneles)	0,50m
	Ancho	0,40m
	Largo	0,6m
	Temperatura alcanzada	113 °C
	Material de construcción	
	Paneles	Aluminio ASTM A 1100
	Carcasa	Acero Galvanizado
	Estructura	Acero A36
	Tapa	Video Templado
	Aislante térmico	Lana de vidrio
	Resistencia eléctrica	Niquelina de 1000 W

Fuente: Autor

## 5.3 Instalación del equipo

Para una correcta utilización del equipo de debe instalar siguiendo las recomendaciones:

- Colocar el equipo con los paneles externos en dirección Este-Oeste.
- Conectar a la fuente de 110 V cuando lo necesite, junto con una protección eléctrica en caso de voltajes elevados.

## 5.4 Requisitos necesarios

Para la utilización de la cocina electro solar se debe tener como mínimo lo siguiente:

- Que el día este despejado
- Mayor incidencia de los rayos solares
- Suministro de corriente para 110V

- Sistema de protección eléctrica.
- Que el piso este lo más horizontal posible
- Los alimentos a preparar no deben requerir mayor cantidad de tiempo para su cocción.

## 5.5 Instrucciones de operación

Son indicaciones que el usuario debe tomar en cuenta antes de empezar a utilizar la cocina.

- Verificar que la cocina este lo más horizontal posible
- Revisar que la cocina este bien sellada con la tapa
- Verificar que el recipiente donde se pondrá la comida estén bien colocados en el interior de la cocina.

### 5.5.1 Inicio del proceso

Para iniciar con el proceso de cocción de los alimentos hay que tomar en cuenta los siguientes pasos como se indica en la Tabla 39.

Tabla 43-5: Inicio de la cocción de los alimentos.

1.-Ubicar la cocina en un lugar apropiado.
2.- Colocar el o los recipientes con los alimentos en el interior de la cocina.
3.- Tapar la cocina electro solar observando que este bien sellada.
4.- Observar y verificar cuando ya estén cocidos los alimentos, para poder retirarlos.

Fuente: Autor



### 5.5.2 Limpieza del equipo

Una vez concluido don la cocción de los alimentos se recomienda realizar el siguiente procedimiento para la limpieza, como se indica en la tabla 40.

Tabla 44-5: Limpieza del esquivo

1.- Desconectar el equipo de la corriente eléctrica en caso de que lo esté usando.
2.- Retirar la tapa, y también todos los recipientes que estén en el interior de la cocina
3.- Comenzar la limpieza con un trapo húmedo, refregando por todas las paredes, así como en la tapa.
4.- Dejar que se seque a la intemperie o expuesta al sol.

Fuente: Autor

### 5.6 Manual de seguridad del equipo

En la cocina electro solar no existe mayor peligro al momento de utilizar, pero tampoco está libre de cualquier accidente por eso se recomienda las siguientes precauciones y medidas de seguridad que se deben considerar.

- Cuando esté conectado, observar que el cable no esté haciendo contacto con la cocina.
- Colocar una protección de voltaje al momento de conectar la resistencia eléctrica.
- No colocar recipientes encima de la tapa de vidrio.
- Al momento de retirar el o los recipientes después de haber cocinado la comida, utilizar un guante de cocina para evitar alguna quemadura.

## 5.7 Análisis de costos de la cocina electro solar

Para un análisis exhaustivo de los costos que exige la realización de este proyecto, se evaluara los gastos que inciden en los mismos de forma directa, indirecta y costos totales.

### 5.7.1 Costos directos

Los costos directos son aquellos q están relacionados de forma directa con la construcción de la cocina electro solar, estos pueden ser: materiales, mano de obra, equipos, herramientas y transporte.

#### 5.7.1.1 Costos de materiales

Dentro de este costo cabe señalar que el mismo es proporcional a las dimensiones.

Tabla 45-5: Lista de materiales y costos.

Descripción	Unidad	Precio unitario(\$)	Cantidad	Precio total (\$)
<b>Plancha de Aluminio 2400x1200x 1mm</b>	m <sup>2</sup>	6	7,20	43.2
<b>Plancha Galvanizada 2400x1200x 0.7mm</b>	m <sup>2</sup>	6	2,88	17.28
<b>Lana de vidrio</b>	M	5	4	20
<b>Perfil L 25x3mm</b>	M	2	4	8
<b>Vidrio Templado 6mm</b>	m <sup>2</sup>	70	0,26	18
<b>Perfil L 25x3 mm</b>	M	1	3	3
<b>Tubo cuadrado 19x2 mm</b>	M	2	1,5	3
<b>Cocina Eléctrica 110v</b>	1	25	1	25
<b>Perno 5/16 x 1 in</b>	U	0,12	10	1,2
<b>Remaches 3/16 x ½ in</b>	U	0,03	45	1,35
<b>Subtotal</b>				<b>140,03</b>

Fuente: Autor

### 5.7.1.2 Costos de mano de obra

El costo de la mano de obra está en relación con el salario del sector metalmeccánico de la localidad, donde se determinó los salarios mínimos de las diferentes categorías.

En función de la mano de obra requerida y el número de horas de trabajo se determina lo siguiente:

Tabla 46-5: Costo de la mano de obra

Descripción	Categoría	Salario real/hora	Horas - hombre	Subtotal
Ayudantes en general	D2	3,5	9	31,5
Soldador especializado	C1	3,75	2	7,5
<b>Total</b>				39

Fuente: Autor

### 5.7.1.3 Costos de equipos y herramientas

Dentro de este tipo de costos se considera el número de horas de utilización de los equipos y el gasto que involucran los mismos por hora de trabajo.

Tabla 47-5: Costo de herramientas y equipos

Categoría	Costo /hora (\$)	Horas de equipo	Subtotal (\$)
<b>Cortadora por plasma</b>	4,5	2	9
<b>Soldadora de arco</b>	1,6	1	1,6
<b>Cizalla mecánica</b>	1	1	1
<b>Cierra de cinta</b>	1	1	1
<b>Escuadra</b>	0,5	1	0,5
<b>Prensa de banco</b>	0,5	2	1
<b>Dobladora manual</b>	2	2	4
<b>Amoladora</b>	2	1	2
<b>Herramientas menores</b>	1	2	2
<b>Total</b>			22,1

Fuente: Autor

#### 5.7.1.4 Costos de movilización

Los materiales para la fabricación de la cocina electro solar son de fácil adquisición, los transportes de los mismos son de 10 dólares.

#### 5.7.1.5 Costos totales directos

El costo total directo consiste en la suma de todos los costos subtotales de materiales, mano de obra, herramientas y equipos que involucra la construcción de la cocina electro solar.

Tabla 48-5: Costos totales directos

<b>Costo de los materiales</b>	140,03
<b>Costo de la mano de obra</b>	39
<b>Costo de los equipos y las herramientas</b>	22,1
<b>Transporte</b>	10
<b>Costo total directo</b>	211,13

Fuente: Autor

#### 5.7.2 Costos indirectos

Los costos indirectos se refieren a aquellos que de una u otra forma tiene influencia al proceso productivo de uno o más productos, por tal motivo no se puede asignar solamente a uno sin usar algún criterio de asignación. Este tipo de costo hace referencia a los costos de ingeniería, involucra lo que es la supervisión y diseño la cocina electro solar en función de costo/hora, como se muestra a continuación.

Tabla 49-5: Costos indirectos

<b>Costos de Ingeniería</b>	<b>Cantidad (horas)</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Subtotal</b>
<b>Supervisión</b>	8	8	16
<b>Diseño</b>	10	8	80
<b>Total</b>			96

Fuente: Autor

### 5.7.3 *Costos totales*

Se refiere a la suma de todos los costos directos e indirectos que involucra la elaboración del proyecto.

Tabla 50-5: Costos totales

<b>Costos Indirectos</b>	96
<b>Costos Directos</b>	211,13
<b>Total</b>	307,13

Fuente: Autor

Por lo que para la construcción de la cocina electro solar se debe contar con un presupuesto de 310 dólares americanos aproximadamente.

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

El diseño planteado de cocina electro solar, tipo acumulación, permite alcanzar temperaturas necesarias para la cocción de los alimentos, con un rendimiento aceptable del 30%, lo cual certifica que funciona bajo condiciones favorables de radiación solar.

La cocina electro solar alcanzó una temperatura promedio en su interior de 113 °C sin la resistencia eléctrica, bajo condiciones climáticas normales de la ciudad de Riobamba. Esta temperatura es suficiente para lograr la cocción de varios alimentos según la “rocook” en su página oficial donde se encuentran las tablas de temperaturas de cocción mínimas de los alimentos.

La temperatura promedio alcanzada por la cocina electro solar en su interior utilizando la resistencia eléctrica es de 123 °C en la ciudad de Riobamba, lo cual disminuiría los tiempos de cocción de los alimentos cuando se presenten cambios inesperados de las condiciones climáticas.

Los materiales utilizados en este proyecto, no son los adecuados, ya que el aluminio ASTM A 1100 no posee un adecuado acabado superficial y su reflectividad es baja.

Los costos del consumo de energía, tanto como en cocinas de inducción o cocinas de GLP, podrán ser reducidos al implementar la cocina electro solar, esto será reflejado en un ahorro en la economía de las familias según la frecuencia con la que se utilice a la cocina propuesta.

## **6.2 Recomendaciones**

Se sugiere cambiar las paredes internas de aluminio por acero inoxidable ASTM A240/480, ya que posee un mejor acabado superficial y sus propiedades reflectivas son mayores, lo que aumentaría la eficiencia de la cocina solar.

En futuras investigaciones se recomienda replantear el diseño, utilizando superficies reflectantes con una geometría parabólica, ya que esto elevaría considerablemente la temperatura y mejoraría su eficiencia.

Para un posterior desarrollo de este proyecto, se sugiere considerar el cambio de alimentación eléctrica de la resistencia, por paneles fotovoltaicos que almacenen la energía en baterías, para posteriormente servir de fuente de energía a la resistencia eléctrica.

Se recomienda realizar un plan de mantenimiento semanal, que consiste en retirar la tapa, y también todos los recipientes que estén en el interior de la cocina. Posteriormente con un trapo húmedo se limpia refregando por todas las paredes, así como en la tapa.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALVAREZ CUADROS, Estefanía Divina.** Estudio de eficiencia energética en menús completos de la Sierra Elaborados en cocinas de inducción y GLP. [En línea] (tesis). Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador. 2015. pp. 26-39. [Consulta: 2017-08-06]. Disponible en: <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/787/1/T-UIDE-704.pdf>

**BARÓN, R.** *Salva tu vida* [En línea], 2011. [Consulta: 2017-07-06]. Disponible en: <http://www.foro.salvatuvida.com/viewtopic.php?f=50&t=5108>

**BENAVIDES, Enrique.** Diseño y construcción de una cocina solar experimental, de tipo cilíndrico parabólico con aplicación al sector rural marginal. [En línea] (tesis). Escuela Superior Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador. 2016. pp. 35-96. [Consulta: 2017-08-14]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/268/T-ESPE-014333.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

**BÈRRIZ, L.** *Las cocinas Solares: ventajas y desventajas* [En línea], 2010. [Consulta: 2017-07-10]. Disponible en: <https://energiacasera.wordpress.com/2010/01/02/las-cocinas-solares-ventaja-s-y-desventajas/>

**CASTRO, José Samuel.** Diseño, Construcción y Pruebas de una Cocina Solar Parabólica de uso Doméstico. [En línea] (tesis). Universidad de el Salvador, San Salvador. 2014. pp. 20-75. [Consulta: 2017-08-17]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/6890/1/Dise%C3%B1o,%20construcci%C3%B3n%20y%20pruebas%20de%20una%20cocina%20solar%20parab%C3%B3lica%20de%20uso%20domestico.pdf>

**CONELEC.** *Atlas solar del Ecuador* [En línea], 2008. [Consulta: 2017-07-11]. Disponible en: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>



**COSTAS, C. L.** *Horno solar - Guía del instructor* [En línea], 2011. [Consulta: 2017-08-11] Disponible en: <http://www2.ece.ohio-state.edu/~anderson/Outreachfiles/K12HornoSolarGuiad elInstructor.pdf>

**DIRECT.** *Direct Industry*. [En línea], 2015. [Consulta: 2017-07-20]. Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/tesa/product-20831-1398147.html>

**ECHEVERRIARZA, M.** *Guía de uso de cocinas y hornos solares* [En línea] 2005. [Consulta: 2017-09-24]. Disponible en: <http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Gu--a-de-uso-de-cocinas-y-hornos-solares.pdf>

**ECOAGRICULTOR.** *ECOAGRICULTOR*. [En línea], 2016. [Consulta: 2017-07-24]. Disponible en: <https://www.ecoagricultor.com/cocinar-con-el-sol-la-cocina-solar/>

**HERSCHEL, J. F.** *Tierra de Ecología Practica*. [En línea], 2005. [Consulta: 2017-07-18]. Disponible en: <http://www.terra.org/categorias/comunidad-cocina-solar/historia-de-la-cocina-solar>

**HERRERROS LLAIQUE, Patricia.** *Diseño, desarrollo y evaluación de una cocina solar de bajo costo*. [En línea] 2013. [Consulta: 2017-07-1a]. Disponible en: [http://www.uap.edu.pe/Investigaciones/Esp/Revista\\_09\\_Esp\\_08.pdf](http://www.uap.edu.pe/Investigaciones/Esp/Revista_09_Esp_08.pdf)

**INEC.** *INEC*. [En línea], 2016. [Consulta: 2017-08-14]. Disponible en: <http://www.ecuadorenci.fras.gob.ec/institucional/home/>

**LEMA, & MORSETTO.** *Evaluación numérica del comportamiento de un horno solar* [En línea] 2013. [Consulta: 2017-08-25]. Disponible en: <http://actas.asades.org.ar/index.php/asades/asades2013/paper/viewFile/1160/143>

**MCMANUS.** *Naturalmente Ciancias* [En línea], 2011. [Consulta: 2017-08-19]. Disponible en: <https://naturalmenteciencias.wordpress.com/tag/espectro-visible/>

**PORTALANZA , Narcisa.** Estandarización de sistemas de calentamiento de agua con energuía solar en la ciudad de riobamba. [En línea] (tesis). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2009. pp. 29-85. [Consulta: 2017-08-18]. Disponible en: <http://dspace.espo.ch.edu.ec/bitstream/123456789/269/1/15T00417.pdf>

**RIBA, C.** *Diseño Concurrente*. Catalunya, España: Edicions UPC, 2002 pp. 24-98.

**RÍO, & JARAMILLO.** *redsolar* [En línea], 2014. [Consulta: 2017-08-24]. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar15/HTML/articulo05.htm>

**ROCA, L.** *Terra* [blog], 2011. [Consulta: 2017-08-27]. Disponible en: <http://www.ecoterra.org>.

**ROCOOK.** *rocook* [blog] 2016. [Consulta: 2017-08-17]. Disponible en: <http://www.rocook.com/es/charts/>.

**SCI.** *Solar Cookers International* [blog], 2004. [Consulta: 2017-08-10]. Disponible en: [www.solarcookers.org](http://www.solarcookers.org)

**SENSAT, Rosa.** *Fundación tierra*. [En línea] 2012. [Consulta: 2017-08-25]. Disponible en: <http://www.ecoterra.org>.

**SHIGLEY.** *Diseño e Ingeniería Mecánica*. novena edición. Mexico: McGraw-Hill, 2008 pp. 35-105.

**SOSA, B.** *Blogspot*. [blog] 2013. [Consulta: 2017-09-01]. Disponible en: <http://ecoberso.blogspot.com/p/tipos-de-cocinas-solares.html>

**SUR.** *Diario Sur* [En línea] 2015. [Consulta: 2017-08-17]. Disponible en: <http://www.diariosur.es/sociedad/201506/12/sabes-usar-correctamente-papel-20150612193334.html>

**TELÉGRAFO, D. E.** *La fiesta del solsticio* [En línea] 2012. [Consulta: 2017-08-25]. Disponible en: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/columnistas/1/la-fiesta-del-solsticio>

**TORO, Mauricio.** Modelación matemática y energética del tubo absorbedor de una central solar térmica con concentradores cilindricos parabólicos. [En línea] (tesis). Escuela Superior Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador. 2015. pp. 25-88. [Consulta: 2017-09-14]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12705/1/T-ESPE-049758.pdf>

**URKIOLA, F. M.** *Introducción de la Cocina Solar en la isla de la Española* [En línea] 2005. [Consulta: 2017-09-14]. Disponible en: [www.cordonbleu.edu/cocina-española/madrid](http://www.cordonbleu.edu/cocina-española/madrid)

**VIDAL, A.** *Locanto tubos y planchas de aluminio.* [En línea] 2013. [Consulta: 2017-09-17]. Disponible en: [http://piura.locanto.com.pe/ID\\_302618049/tubos-angulos-barras-platinas-planchas-de-aluminio.html](http://piura.locanto.com.pe/ID_302618049/tubos-angulos-barras-platinas-planchas-de-aluminio.html)

**YUNUS, C.** *Transferencia de Calor y Masa.* cuarta edición. Mexico D.F., México: McGraw-Hill. 2011 pp. 28-456.

# **ANEXOS**

# PLANOS

