



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA  
Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA  
SECADORA DE CACAO PARA APLICACIÓN  
AGROINDUSTRIAL EN LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO  
DE LOS TSÁCHILAS**

**AUTORES: ESPINOSA MARTÍNEZ, CRISTINA NATALIA  
RUIZ BUITRÓN, VALERIA ALEXANDRA**

**DIRECTOR: ING. ARLA, SANDRA  
CODIRECTOR: ING. PADILLA, FLAVIO**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

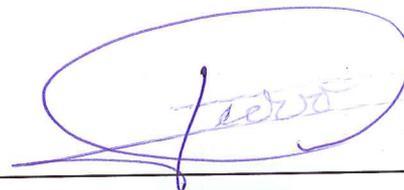
## CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE CACAO PARA APLICACIÓN AGROINDUSTRIAL EN LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS" fue realizado en totalidad por Cristina Natalia Espinosa Martínez y Valeria Alexandra Ruiz Buitrón, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.



---

**Ing. Sandra Arla**  
**DIRECTOR**



---

**Ing. Flavio Padilla**  
**CODIRECTOR**

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, Cristina Natalia Espinosa Martínez y Valeria Alexandra Ruiz Buitrón, declaramos que el proyecto: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE CACAO PARA APLICACIÓN AGROINDUSTRIAL EN LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS", ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas bibliográficas y referencias correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este proyecto es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Cristina Natalia Espinosa Martínez

Valeria Alexandra Ruiz Buitrón

## CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



Ing. Francisco Terneus

Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

## CARRERA DE INGENIRÍA MECATRÓNICA

### AUTORIZACIÓN

Nosotras: Cristina Natalia Espinosa Martínez y Valeria Alexandra Ruiz Buitrón

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE CACAO PARA APLICACIÓN AGROINDUSTRIAL EN LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS**” Cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad.

---

**Cristina Natalia Espinosa Martínez**

---

**Valeria Alexandra Ruiz Buitrón**

Sangolquí, 06 de Mayo 2015

## **DEDICATORIA**

A mi madre quien con mucho esfuerzo y entereza supo sacarme adelante, se convirtió en mi aliada, mi cómplice, mi amiga, mi compañera, mi soporte, en los momentos más difíciles cuando estuve a punto de desfallecer no me dejó caer, siempre ha sido un ejemplo de tenacidad, siempre ha sido y será mi inspiración...

**CRISTINA NATALIA ESPINOSA MARTÍNEZ**

## **DEDICATORIA**

En medio de la luz o la sombra, la calidez o el frío; mi motivación e inspiración para crecer y empeñarme por ser mejor que ayer, son ellos, mis padres.

Reinaldo Ruiz y Martha Buitrón son mis dos grandes motores por quienes hoy con orgullo agradezco mi existencia y el poder alcanzar este logro de su mano.

**VALERIA ALEXANDRA RUIZ BUTRÓN**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la salud, la voluntad y la fortaleza para culminar con esta meta.

A mi madre Tulia Martínez, sin tu aliento diario y tu esperanza depositada en mí, nada de esto sería posible, porque solo tú has vivido en carne propia mis triunfos y fracasos a lo largo de mi carrera universitaria y de mi vida, eres mi motor mami, este logro es nuestro.

A mi padre Jorge Espinosa, gracias por lo que me has enseñado.

A mis tíos Sergio y Narcisa mis segundos padres. A toda mi gran familia que nunca me ha dejado sola, a mi abuelita María por siempre creer en mí. Mis tíos Bryon, Otilia, Laura, Patricio, Germania, Vidalino, Abundio, Victor y primos Chistian, Juan Martín, Alexis, Marisol, Janeth, Vanesa, Jheimy, Sneydher, Jhamilton, Oscar, Giselle, Alison, Freima, Diana, Boris, Edwin, Irving y Rose Mary que siempre me han ayudado regalándome experiencias y recuerdos invaluableles, les debo mucho.

A mi prima Michelle, mi hermana, mi amiga, mi confidente; gracias por aconsejarme, consolarme, soportarme; pero sobre todo gracias por darme tu confianza y cariño; te adoro peque. A mi primo Juan Francisco, por tus mimos, tu cariño y admiración.

A mi mejor amiga Andrea Orbe, por tu incondicional amistad, por tus enseñanzas, tus cuidados, por defenderme y reprenderme como a hija; porque siempre puedo contar contigo negrita mía.

Anghelo, si hay alguien que me conoce mejor que nadie, eres tú; gracias por estar siempre a mi lado para escucharme y apoyarme; que alegría que sigas formando parte de mi vida.

Dicen que en los momentos difíciles conoces a los verdaderos amigos a Carlos Alomoto, por su entrega y cuidado en la época más difícil de mi vida, por alentarme siempre y creer que sí podía cumplir mis objetivos y metas.

A Iván Velasco, Andre Córdor, Juan Pablo González, Santiago Santander, Romi Vargas, Andrés Salas gracias por llenar mi vida de alegría y buenos momentos, mientras luchábamos por pasar cada semestre.

Trabajar en grupo no es tarea fácil; Valeria Ruiz te agradezco por culminar de la mejor manera este reto que juntas empezamos, con todos los percances, risas y llantos. Lo logramos.

A la familia Ruiz Buitrón, por abrirme las puertas de su casa y acogerme como parte de ella.

A Diego Padilla, por la confianza y el apoyo incondicional a lo largo del proyecto, mil gracias.

Ingeniera Sandra Arla e Ingeniero Flavio Padilla gracias por su comprensión, guía pertinente, por su buena voluntad y consejos que beneficiaron al éxito del trabajo realizado para terminar el proyecto de tesis.

**CRISTINA NATALIA ESPINOSA MARTÍNEZ**

## AGRADECIMIENTO

En mi caminar, desde el primer paso hasta el que acabo de dar, te agradezco Señor porque nunca me faltaste y madre mía, Virgencita velando y resguardando cada uno de mis días.

Madre y Padre, quienes me dieron la vida, gracias por su persistencia y sobre todo por su ejemplo, amor y amparo.

A mis hermanos, Chris, Ivethsita, Vanne y Fer; hermanos de sangre y de corazón, son mi familia y han estado respaldando mi camino, animando y sosteniendo mi mano en momentos buenos y los no tan buenos; a ustedes les debo también la alegría de mi vida, contar con mis hermosos pequeñas y pequeños sobrinos.

El gestor de este suceso de culminación es mi ahora colega y compañero de vida, Diego Padilla, las palabras quedarían cortas intentar agradecer todo el soporte, confianza, amor y paciencia; la familia Padilla Galarza que alentaron pequeños y grandes progresos en este proyecto final.

Amigos y compañeros que se sentaron a mi lado en las mismas aulas, con quienes compartimos madrugadas demasiado cortas trabajando juntos por nuestros propósitos; gracias a ustedes, me llevo las más gratas memorias por todo lo recorrido, Iván, Juan Pablo, Andre G., Romi.

No puedo decir que me he forjado con momentos agradables nada más; y en los días más duros recuerdo el apoyo de personas esenciales para que este logro pudiera ser una realidad en mi vida, Alex Cabascango, Anita Torres, Ale Valdés, María Fernanda Álvarez, mi tío Javier Buitrón, Crnl. William Aragón e Ing. Fernando Piedra.

Sin importar el periodo de permanencia en mi vida, han hecho mi existencia mucho más llevadera, Ana Carolina Montañó, Andrea Cañas, Carlos Ramírez, Daniela Vaca, Reims Lanchimba, Andrea Orbe, Karla Buitrón, Stephanny Buitrón; quienes sustentaron todos los esfuerzos que se han llevado a cabo por culminar con éxito mi carrera profesional, sus consejos y aliento me acompañan al buscar mis ideales.

Por la guía, orientación y tiempo dedicados a esta tesis, Ing. Sandra Arla, Ing. Flavio Padilla y Jonathan Collaguazo, que con sus manos, sudor y experiencia levantó nuestro diseño.

Natalia Espinosa, amiga, compañera, cómplice y una gran profesional; gracias por llevar a mi lado de la mejor manera esta última batalla, por ganarte mi respeto, cariño y admiración. Sra. Tulita Martínez por su comprensión y acogida.

**VALERIA ALEXANDRA RUIZ BUITRÓN**

## INDICE GENERAL

### ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>II</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....</b>	<b>III</b>
<b>AUTORIZACIÓN.....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>VII</b>
<b>INDICE GENERAL .....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XXIX</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XXX</b>
 <b>CAPITULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación e importancia .....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general. ....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Descripción del proyecto .....	5
1.5 Alcance del proyecto .....	9
1.5.1 Componentes mecánicos. ....	9
1.5.2 Componentes eléctricos/electrónicos. ....	10
1.5.3 Componentes de control. ....	10
1.6 Metodología de Diseño.....	11
1.7 Procesos de Manufactura.....	11
1.7.1 Cortado Mecánico.....	12
1.7.2 Doblado. ....	13
1.7.3 Soldadura.....	13
 <b>CAPITULO II</b>	
<b>FACTORES DEL MEDIO AMBIENTE Y ANÁLISIS DE CONDICIONES</b>	
<b>DE SECADO .....</b>	<b>15</b>
2.1 Principales Zonas de Producción a Nivel Nacional.....	15
2.2 Factores Climáticos .....	15
2.2.1 Temperatura.....	16
2.2.2 Heliofania y Luminosidad. ....	17
2.2.3 Precipitación. ....	17
2.2.4 Humedad Relativa. ....	19
2.3 Características del Cacao.....	19

2.3.1	Zona de Origen del Cacao.....	19
2.3.2	Taxonomía.....	20
2.3.3	Morfología.....	20
2.4	Clasificación del Cacao.....	22
2.4.1	Criollo.....	23
2.4.2	Forastero.....	23
2.4.3	Trinidad.....	24
2.5	Procesamiento Post Cosecha.....	25
2.5.1	Fermentación.....	25
2.5.1.1	En montones.....	26
2.5.1.2	En sacos.....	27
2.5.1.3	En cajas.....	28
2.5.1.4	En tendales.....	29
2.6	Proceso de Secado.....	29
2.6.1	Al sol.....	30
2.6.2	Estufas artificiales.....	30
2.6.2.1	Secadora Artificial con Leña.....	31
2.6.2.2	Secadora Artificial de combustible.....	31
2.6.2.3	Secadora Artificial eléctrica.....	31
2.6.2.4	Secadora Samoa.....	31
2.7	Capacidad de producción.....	32
2.8	Tiempo de Secado.....	33
2.8.1	Secado Natural.....	33
2.8.2	Secado Artificial.....	34
2.9	Calidad del cacao.....	34
2.9.1	Evaluación de la calidad del cacao.....	35

### **CAPITULO III**

#### **ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO ..... 38**

3.1	Despliegue de la Función de Calidad (QFD).....	38
3.1.1	Requisitos del Cliente.....	38
3.1.2	Especificaciones Técnicas.....	40
3.2	Propuestas de Diseño.....	44
3.2.1	Secador Rotatorio tipo Guardiola.....	44
3.2.2	Secador Continuo de Flujo Paralelo.....	44
3.2.3	Secador Continuo de Flujo Cruzado.....	45
3.2.4	Secador Estático de Bandejas de Flujo Paralelo.....	46
3.3	Selección de la Propuesta de Diseño.....	46
3.4	Decisión Energética.....	50
3.4.1	Resistencias Eléctricas.....	51
3.4.1.1	Equipos Accesorios para la instalación de Resistencias Eléctricas.....	52
3.4.2	Gas Licuado de Petróleo.....	52
3.4.2.1	Equipos Accesorios para instalación de GLP.....	53
3.4.3	Análisis Comparativo.....	54

### **CAPITULO IV**

#### **DISEÑO ..... 56**

4.1	Consideraciones de Diseño.....	56
4.2	Parámetros del cacao para el diseño .....	56
4.2.1	Granulometría.....	56
4.2.2	Propiedades del grano de cacao.....	58
4.2.2.1	Contenido de producto por bandeja. ....	58
4.2.2.2	Contenido de Humedad en base húmeda. ....	59
4.2.2.3	Contenido de Humedad en base seca. ....	63
4.2.2.4	Masa Seca del Producto. ....	64
4.2.2.5	Cantidad de Agua a Remover. ....	64
4.3	Propiedades del Aire Atmosférico.....	65
4.3.1	Carta Psicrométrica.....	66
4.3.2	Humedad Absoluta del aire de Secado.....	68
4.3.3	Análisis del Proceso de Secado. ....	70
4.3.4	Densidad del aire de secado.....	71
4.4	Curva de Secado .....	72
4.5	Tiempo de secado .....	74
4.5.1	Tiempo de Secado a Velocidad Constante. ....	74
4.5.2	Tiempo de Secado a Velocidad Decreciente. ....	77
4.6	Balance Energético .....	79
4.6.1	Calor Útil.....	79
4.6.1.1	Calor Sensible del Producto.....	80
4.6.1.2	Calor Sensible del Agua.....	80
4.6.1.3	Calor Latente del Agua.....	81
4.6.1.4	Calor Sensible de las bandejas.....	82
4.6.2	Calor Perdido.....	83
4.6.2.1	Calor perdido en las paredes.....	83
4.6.2.2	Cálculo del coeficiente interior de transferencia de calor por convección.....	91
4.6.2.3	Cálculo del coeficiente exterior de transferencia de calor por convección.....	91
4.6.2.4	Cálculo del espesor del aislante.....	92
4.6.2.5	Cálculo del coeficiente de transferencia de calor global.....	95
4.6.2.6	Cálculo de pérdidas por cambios de aire.....	96
4.6.3	Calor Total.....	97
4.7	Selección del Ventilador.....	97
4.7.1	Caudal o Flujo másico del aire.....	99
4.7.2	Pérdidas de carga en ductos.....	102
4.7.2.1	Tramo Recto.....	104
4.7.2.2	Pérdidas en accesorios.....	105
4.7.3	Caída de presión en el lecho de granos.....	112
4.7.3.1	Fracción de vacío.....	112
4.7.3.2	Cálculo de la superficie de contacto entre granos.....	114
4.7.3.3	Radio Hidráulico de la Partícula Sólida.....	115
4.7.3.4	Distribución del aire dentro de la cámara de secado.....	117
4.8	Dimensionamiento de las Resistencias Eléctricas.....	118
4.9	Diseño Mecánico Estructural.....	120
4.9.1	Soporte de la cámara de secado.....	120
4.9.2	Estructura Interna de la cámara.....	121

4.9.3	Soporte del gabinete de control. ....	123
4.9.4	Soporte de bandejas. ....	125
4.9.5	Bandejas. ....	128
4.10	Diseño del Sistema Eléctrico.....	129
4.10.1	Breaker o Interruptor termomagnético. ....	130
4.10.2	Contactador .....	131
4.11	Diseño del Sistema de Control .....	133
4.11.1	Controlador Digital.....	135
4.11.2	Controlador Lógico Programable (PLC).....	136
4.11.3	Horómetro.....	138
4.11.4	Selector.....	138
4.11.5	Pulsadores.....	139
4.11.6	Luces Piloto.....	139
4.11.7	Relé.....	140
4.11.8	Manómetro.....	140
4.11.9	Válvula de Bola.....	141
4.11.10	Funcionamiento.....	142

## **CAPITULO V**

### **CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN..... 144**

5.1	Construcción e Implementación del Sistema Mecánico.....	144
5.1.1	Soporte de la cámara de secado.....	145
5.1.1.1	Elaboración de la estructura de soporte. ....	145
5.1.1.2	Selección y montaje de las garruchas de soporte. ....	147
5.1.2	Cámara de Secado. ....	149
5.1.2.1	Elaboración de Estructura de la cámara. ....	149
5.1.2.2	Elaboración de las paredes externas e internas de la cámara. ....	150
5.1.2.3	Implementación del aislante en la cámara de secado.....	155
5.1.2.4	Elaboración de agujeros de entrada y salida de aire. ....	156
5.1.2.5	Elaboración y Montaje de la puerta. ....	157
5.1.3	Ventilador Centrífugo.....	158
5.1.3.1	Rotor.....	159
5.1.3.2	Voluta o Carcasa. ....	160
5.1.3.3	Montaje del Ventilador. ....	161
5.1.4	Ductos.....	162
5.1.4.1	Acople Ventilador-Ducto.....	163
5.1.4.2	Sentido Ventilador a Cámara. ....	163
5.1.4.3	Sentido Cámara a Ventilador. ....	165
5.1.5	Chimenea. ....	166
5.1.6	Bandejas. ....	166
5.1.7	Bisagras.....	169
5.1.8	Seguro de Puerta.....	170
5.1.9	Acople renovación de aire.....	170
5.1.10	Soporte de gabinete de control.....	173
5.1.11	Gabinete de Control.....	174
5.2	Implementación de los componentes Eléctricos y/o electrónicos.....	177
5.2.1	Elementos de Potencia.....	177

5.2.1.1	Interruptor Termomagnético (Breaker).....	177
5.2.1.2	Contactador Principal.....	178
5.2.1.3	Contactador (x4). ....	178
5.2.1.4	Banco de Resistencias.....	179
5.2.1.5	Motor del Ventilador.....	180
5.2.2	Elementos de Electrónica Digital. ....	180
5.2.2.1	Selector.....	181
5.2.2.2	Pulsadores (x10).....	181
5.2.2.3	Relé (x4).....	181
5.2.2.4	Luces Piloto (x5).....	182
5.2.2.5	Pulsador Tipo Hongo. ....	182
5.2.2.6	Horómetro. ....	183
5.2.2.7	Cableado Eléctrico. ....	183
5.2.3	Montaje de elementos eléctricos.....	184
5.3	Implementación del Sistema de Control.....	185
5.3.1	Controlador de Temperatura y Humedad. ....	185
5.3.2	PLC.....	185
5.3.3	Montaje de elementos de control.....	186
5.4	Programación del Sistema de Control .....	186
5.5	Validación y Pruebas de Funcionamiento .....	188
5.5.1	Pruebas Mecánicas. ....	189
5.5.1.1	Alineación del rotor y el eje del motor del ventilador. ....	189
5.5.2	Pruebas del Sistema Eléctrico y de Control.....	189
5.5.2.1	Pruebas de Cortocircuito. ....	189
5.5.2.2	Medición del Voltaje de Alimentación. ....	190
5.5.2.3	Prueba de Control de los Mandos de Circuito. ....	191
5.5.3	Pruebas del Conjunto.....	192
5.5.3.1	Prueba de Velocidad de Aire de Ingreso.....	192
5.5.3.2	Pruebas de Secado en Vacío. ....	193
5.5.3.3	Pruebas de Secado con carga .....	197
5.5.4	Prueba de Calidad del Cacao.....	207

## **CAPITULO VI**

### **ANALISIS ECONÓMICO FINANCIERO ..... 215**

6.1	Análisis Financiero .....	215
6.1.1	Costos de Materiales Directos .....	216
6.1.2	Costos de Mano de Obra Directa.....	218
6.1.3	Costos Indirectos de Producción. ....	218
6.1.4	Materiales Indirectos .....	219
6.1.5	Mano de Obra Indirecta.....	219
6.1.6	Costos Totales del Proyecto .....	220

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 222**

7.1	Conclusiones.....	222
7.2	Recomendaciones .....	223

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>224</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>233</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Condiciones de Clima y Suelo para la producción de Cacao .....	2
<b>Tabla 2</b> Temperatura Mensual del cantón La Concordia 2013-2014.....	16
<b>Tabla 3</b> Precipitaciones Acumuladas Anuales Calculadas en el cantón La Concordia.....	19
<b>Tabla 4</b> Taxonomía del cacao.....	20
<b>Tabla 5</b> Componentes del cacao.....	22
<b>Tabla 6</b> Requisitos de las calidades del cacao beneficiado .....	35
<b>Tabla 7</b> Peso y número de almendras en 100 gr.....	36
<b>Tabla 8</b> Ácidos orgánicos en muestras de cacao fermentado y seco.....	37
<b>Tabla 9</b> Requerimientos del Cliente .....	39
<b>Tabla 10</b> Especificaciones Técnicas del Proceso de Secado.....	41
<b>Tabla 11</b> Simbología Utilizada en la matriz QFD para relacionar el requerimiento del cliente y la característica técnica .....	41
<b>Tabla 12</b> Simbología Utilizada en la matriz QFD para interrelacionar las características técnicas.....	42
<b>Tabla 13</b> Conclusiones de la matriz QFD .....	43
<b>Tabla 14</b> Significado de Calificación de la Matriz Morfológica.....	48
<b>Tabla 15</b> Matriz Morfológica .....	49
<b>Tabla 16</b> Precios de combustibles y poder calorífico.....	54
<b>Tabla 17</b> Características de Métodos de Generación de Calor .....	54
<b>Tabla 18</b> Medidas de la Fruta de Cacao .....	57
<b>Tabla 19</b> Dimensiones promedio del grano de cacao.....	57
<b>Tabla 20</b> Propiedades del cacao .....	58
<b>Tabla 21</b> Propiedades Psicométricas del Aire Ambiente .....	68
<b>Tabla 22</b> Propiedades Psicométricas del Aire de Secado.....	70
<b>Tabla 23</b> Capas de material .....	92
<b>Tabla 24</b> Resultados de la resistencia térmica.....	93
<b>Tabla 25</b> Presentaciones de lana mineral .....	94
<b>Tabla 26</b> Diferenciación ductos de entrada y salida de aire .....	102
<b>Tabla 27</b> Pérdidas en tramo recto y tubería flexible.....	105

<b>Tabla 28</b> Presión dinámica en los ductos .....	106
<b>Tabla 29</b> Coeficientes de corrección por accesorios en ducto entrada.....	108
<b>Tabla 30</b> Coeficientes de corrección por accesorios en ducto salida .....	110
<b>Tabla 31</b> Total Pérdidas de Ductos .....	111
<b>Tabla 32</b> Comparación propiedades perfiles de soporte .....	125
<b>Tabla 33</b> Información de carga en los perfiles .....	125
<b>Tabla 34</b> Análisis de Esfuerzos (Von Mises) para soporte bandeja.....	126
<b>Tabla 35</b> Análisis de Desplazamientos para soporte bandeja .....	127
<b>Tabla 36</b> Análisis de Deformación Unitaria para soporte bandeja.....	127
<b>Tabla 37</b> Consumo de corriente en el circuito de control .....	132
<b>Tabla 38</b> Consumo de corriente en cada carga.....	132
<b>Tabla 39</b> Especificaciones técnicas del controlador MT-530 super.....	135
<b>Tabla 40</b> Especificaciones Técnicas del Horómetro .....	138
<b>Tabla 41</b> Correspondencia de pulsadores salidas .....	142
<b>Tabla 42</b> Descripción de los materiales de las paredes internas y externas de la cámara de secado .....	150
<b>Tabla 43</b> Especificaciones Técnicas del Equipo de Soldadura Gala MIG 260.....	153
<b>Tabla 44</b> Descripción del Material Aislante.....	155
<b>Tabla 45</b> Descripción de la composición del vidrio aislante.....	158
<b>Tabla 46</b> Características del ducto flexible .....	165
<b>Tabla 47</b> Calibre de cable de potencia .....	184
<b>Tabla 48</b> Variables de Programación del PLC .....	187
<b>Tabla 49</b> Consumo energético del secador por hora .....	193
<b>Tabla 50</b> Datos generales de la prueba en vacío .....	194
<b>Tabla 51</b> Datos de humedad y temperatura prueba en vacío.....	195
<b>Tabla 52</b> Datos generales del secado Prueba 1 .....	199
<b>Tabla 53</b> Datos de humedad y temperatura prueba 1 de secado .....	200
<b>Tabla 54</b> Resultados de la Prueba 1 de secado de cacao.....	202
<b>Tabla 55</b> Cacao a secar Prueba 2.....	203
<b>Tabla 56</b> Datos generales del secado Prueba 2 .....	203
<b>Tabla 57</b> Datos de humedad y temperatura prueba 1 de secado .....	204
<b>Tabla 58</b> Resultados de la Prueba 2 de secado de cacao.....	206

<b>Tabla 59</b> Resultados de la prueba de agua .....	209
<b>Tabla 60</b> Pesos de cascarillas en el grano de cacao.....	211
<b>Tabla 61</b> Medición de pH en la muestra .....	213
<b>Tabla 62</b> Descripción de Subsistemas según su referencia funcional.....	215
<b>Tabla 63</b> Detalle de elementos de la parte estructural.....	216
<b>Tabla 64</b> Detalle de elementos del gabinete de control.....	217
<b>Tabla 65</b> Resumen costos de materiales directos .....	218
<b>Tabla 66</b> Descripción de Costo de Mano de Obra Directa.....	218
<b>Tabla 67</b> Descripción de Costos de Materiales Indirectos .....	219
<b>Tabla 68</b> Descripción de Costo Total.....	220
<b>Tabla 69</b> Índice Costo Beneficio del Proyecto.....	221

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación Satelital de la Finca "Lolita" .....	1
<b>Figura 2</b> Secadoras artificiales de cacao .....	3
<b>Figura 3</b> Proceso Primario del Cacao.....	4
<b>Figura 4</b> Fruto de cacao y sus granos .....	5
<b>Figura 5</b> Fuentes de Energía posibles para la implementación del proyecto .....	6
<b>Figura 6</b> Montaje de sensores y actuadores en tablero de control .....	7
<b>Figura 7</b> Sensor de temperatura y humedad.....	7
<b>Figura 8</b> Diagrama de Control en lazo cerrado para el proceso de secado de cacao ..	8
<b>Figura 9</b> Luces piloto y pulsadores .....	9
<b>Figura 10</b> Mapa conceptual de la metodología del Diseño Concurrente .....	11
<b>Figura 11</b> Procesos de corte mecánico .....	12
<b>Figura 12</b> Proceso de doblado .....	13
<b>Figura 13</b> Posiciones de soldadura.....	14
<b>Figura 14</b> Zonas de producción de cacao en Ecuador.....	15
<b>Figura 15</b> Mapa Distribución de Temperatura Máxima del Ecuador 08 de Noviembre de 2013. ....	17
<b>Figura 16</b> Datos Climáticos del Cantón La Concordia 2013-2014.....	18
<b>Figura 17</b> Mapa Distribución de Precipitación Acumulada del Ecuador Diciembre 2013. ....	18
<b>Figura 18</b> Árbol de cacao con frutos .....	21
<b>Figura 19</b> Flor de del árbol de cacao .....	21
<b>Figura 20</b> Semillas de cacao .....	22
<b>Figura 21</b> Cacao Criollo Fruto y almendras.....	23
<b>Figura 22</b> Cacao Forastero Maduro .....	24
<b>Figura 23</b> Clones aptos para la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas.....	25
<b>Figura 24</b> Fermentación del cacao .....	26
<b>Figura 25</b> Fermentación de cacao en montones .....	27
<b>Figura 26</b> Fermentación de cacao en sacos .....	27
<b>Figura 27</b> Fermentación de cacao en cajas.....	28
<b>Figura 28</b> Fermentación de cacao en tendales .....	29

<b>Figura 29</b> Secado de cacao al sol .....	30
<b>Figura 30</b> Datos Superficie Sembrada y Cosechada de cacao en Santo Domingo de los Tsáchilas.....	32
<b>Figura 31</b> Datos de Producción y Rendimiento de cacao en Santo Domingo de los Tsáchilas .....	33
<b>Figura 32</b> Escala del pH.....	35
<b>Figura 33</b> Diagrama causa efecto requerimientos cliente-especificaciones técnicas	39
<b>Figura 34</b> Matriz de la Función de la Calidad.....	42
<b>Figura 35</b> Porcentaje de Relevancia de los parámetros de diseño .....	43
<b>Figura 36</b> Secador Rotario Tipo Guardiola.....	44
<b>Figura 37</b> Esquema secador Continuo de Flujo Paralelo .....	45
<b>Figura 38</b> Esquema secador Continuo de Flujo Cruzado.....	45
<b>Figura 39</b> Secador Estático de Bandejas con Flujo Cruzado .....	46
<b>Figura 40</b> Juego de Resistencias Eléctricas en arreglo redondo .....	51
<b>Figura 41</b> Juego de resistencias en U provistas de aletas.....	52
<b>Figura 42</b> Diferentes tamaños de cilindros de GLP .....	52
<b>Figura 43</b> Quemador Industrial de GLP.....	53
<b>Figura 44</b> Modelo CAD de la bandeja de acero inoxidable.....	59
<b>Figura 45</b> Muestra tomada según Norma 177 .....	60
<b>Figura 46</b> Muestra de 15 granos para determinación de humedad .....	61
<b>Figura 47</b> Colocación de la muestra en la cápsula .....	61
<b>Figura 48</b> Se tapa la muestra .....	61
<b>Figura 49</b> Pesar 5g de muestra .....	62
<b>Figura 50</b> Muestra en la estufa a 103oC .....	62
<b>Figura 51</b> Tablas de Condiciones Atmosféricas acorde a la Altitud.....	66
<b>Figura 52</b> Descripción de una Carta Psicrométrica y dirección de procesos .....	66
<b>Figura 53</b> Propiedades Psicrométricas del aire a Tamb, Patm y HRatm en EES .....	67
<b>Figura 54</b> Diagrama del proceso de acondicionamiento del aire sobre la carta psicométrica.....	68
<b>Figura 55</b> Propiedades Psicrométricas del aire de secado.....	69
<b>Figura 56</b> Carta Psicrométrica para altas temperaturas .....	70
<b>Figura 57</b> Curva de Secado .....	72

<b>Figura 58</b> Curva de Velocidad de Secado .....	73
<b>Figura 59</b> Curva de Secado del Cacao fino de Aroma .....	74
<b>Figura 60</b> Relación Velocidad vs Tiempo .....	79
<b>Figura 61</b> Dimensiones de la carcasa metálica de revestimiento .....	83
<b>Figura 62</b> Modelo CAD de la cámara externa de secado .....	84
<b>Figura 63</b> Formas de transferencia de calor .....	85
<b>Figura 64</b> Partes del Vidrio Aislante doble cámara .....	85
<b>Figura 65</b> Descripción de los Vidrios .....	87
<b>Figura 66</b> Tabla de valores de transmitancia térmica .....	87
<b>Figura 67</b> Dimensiones de la cámara de secado interna .....	88
<b>Figura 68</b> Modelo CAD de cámara interna .....	89
<b>Figura 69</b> Esquema de transferencia de calor en el secador de calor .....	90
<b>Figura 70</b> Esquema de conformación de sánduche .....	92
<b>Figura 71</b> Costo energético vs Espesor de aislante .....	95
<b>Figura 72</b> Esquema Funcionamiento de un Ventilador Centrífugo .....	98
<b>Figura 73</b> Volutas y rotores de ventiladores centrífugos a) álabes inclinados hacia adelante, b) álabes radiales, c) álabes inclinados hacia atrás .....	99
<b>Figura 74</b> Sección transversal de la cámara de secado .....	100
<b>Figura 75</b> Ventilador Centrifugo Soler & Palau BD .....	102
<b>Figura 76</b> Diagrama de diámetro equivalente a un conducto rectangular .....	103
<b>Figura 77</b> Modelo CAD del ducto con su forma y dimensiones diseñadas .....	104
<b>Figura 78</b> Nomograma de Pérdidas de Carga en un Conducto Rectilíneo .....	104
<b>Figura 79</b> Diagrama de Presión dinámica, caudal, diámetro .....	105
<b>Figura 80</b> Coeficientes n para diferentes entradas .....	106
<b>Figura 81</b> Coeficientes para codos a 90° .....	107
<b>Figura 82</b> Coeficientes para secciones de aumento .....	107
<b>Figura 83</b> Acople de entrada al ventilador .....	108
<b>Figura 84</b> Coeficientes n para diferentes entradas .....	109
<b>Figura 85</b> Resistencia por cuerpo atravesado en el ducto .....	109
<b>Figura 86</b> Resistencia por cuerpo atravesado en el ducto .....	110
<b>Figura 87</b> Resistencia por cuerpo atravesado en el ducto .....	111
<b>Figura 88</b> Esquema representativo de diferencias de volúmenes en lecho .....	113

<b>Figura 89</b> Distribución de aire dentro de la cámara de secado .....	118
<b>Figura 90</b> Banco de Resistencias de alta capacidad térmica.....	118
<b>Figura 91</b> Modelo CAD de las resistencias eléctricas del sistema.....	119
<b>Figura 92</b> Soporte de cámara con sujeciones y carga distribuida .....	120
<b>Figura 93</b> Esfuerzos resultantes en el soporte de la cámara.....	121
<b>Figura 94</b> Desplazamientos resultantes en el soporte de la cámara .....	121
<b>Figura 95</b> Asignación de fijaciones y cargas en la estructura de la cámara interna	122
<b>Figura 96</b> Esfuerzos resultantes en la estructura interna de la cámara.....	122
<b>Figura 97</b> Desplazamientos resultantes de la estructura interna de la cámara .....	123
<b>Figura 98</b> Vista de mallado de elementos finitos, sujeciones y cargas del soporte del control .....	123
<b>Figura 99</b> Esfuerzos resultantes del soporte del control .....	124
<b>Figura 100</b> Desplazamientos resultantes del soporte del control.....	124
<b>Figura 101</b> Esfuerzos de la bandeja .....	128
<b>Figura 102</b> Desplazamientos de la bandeja.....	129
<b>Figura 103</b> Símbolo del Interruptor Magnetotérmico .....	130
<b>Figura 104</b> Interruptores Magnetotérmicos 3 polos, 2 polos y 1 polo.....	130
<b>Figura 105</b> Símbolo del Interruptor Magnetotérmico .....	131
<b>Figura 106</b> Contactor Schneider 9A, 3P .....	132
<b>Figura 107</b> Diagrama del circuito de potencia .....	133
<b>Figura 108</b> Diagrama de un sistema de control en lazo cerrado .....	134
<b>Figura 109</b> Controlador e Indicador Digital de Temperatura y Humedad FullGauge MT-530.....	135
<b>Figura 110</b> Estructura y Explicación de Partes de un PLC Siemens Logo 230-RC	137
<b>Figura 111</b> Horómetro LEZN .....	138
<b>Figura 112</b> Selector de 2 posiciones para mando manual o automático .....	139
<b>Figura 113</b> Apariencia de distintos pulsadores .....	139
<b>Figura 114</b> Luces Piloto verde y roja.....	140
<b>Figura 115</b> Distintos relés .....	140
<b>Figura 116</b> Manómetro Winters PFP .....	141
<b>Figura 117</b> Válvula de bola.....	141
<b>Figura 118</b> Diagrama de control de entradas digitales activas en mando manual ..	142

<b>Figura 119</b> Diagrama de control de salidas Logo 230-RC .....	143
<b>Figura 120</b> Diagrama de flujo del proceso constructivo del producto mecatrónico	144
<b>Figura 121</b> Selección del tubo estructural para el soporte y armazón de la cámara de secado.....	145
<b>Figura 122</b> Estructura de soporte soldada .....	146
<b>Figura 123</b> Máquina Soldadora por arco manual con electrodo revestido .....	146
<b>Figura 124</b> Platina para ensamblar el soporte a la cámara de secado .....	147
<b>Figura 125</b> Criterios de selección garruchas .....	148
<b>Figura 126</b> Garrucha con freno con 150 kg de capacidad de carga .....	148
<b>Figura 127</b> Suelda de las garruchas a las patas del soporte .....	149
<b>Figura 128</b> Proceso de construcción de la estructura de la cámara de secado .....	149
<b>Figura 129</b> Estructura de la cámara de secado .....	150
<b>Figura 130</b> Medición y trazado de aristas y límites en láminas de acero galvanizado (externo) y acero inoxidable (interno) .....	151
<b>Figura 131</b> Corte de las planchas de acero comercial de 1.22x2.44 m.....	151
<b>Figura 132</b> Doblado de las planchas de acero.....	152
<b>Figura 133</b> Colocación de lámina exterior sobre la estructura de la cámara .....	152
<b>Figura 134</b> Equipo de soldadura Gala MIG 260.....	153
<b>Figura 135</b> Cámara Interna Acero Inoxidable 304L .....	154
<b>Figura 136</b> Puntos de soldadura en el Acero Inoxidable .....	154
<b>Figura 137</b> Proceso de corte de la lana mineral .....	155
<b>Figura 138</b> Ubicación del aislante de la cámara de secado.....	156
<b>Figura 139</b> Cierra caladora.....	156
<b>Figura 140</b> Vistas de los cortes de entrada y salida de aire de la cámara .....	157
<b>Figura 141</b> Puerta de la cámara de secado .....	157
<b>Figura 142</b> Vidrio cámara para la puerta .....	158
<b>Figura 143</b> Ventilador centrífugo Soler & Palau BD 1300.....	159
<b>Figura 144</b> Rodete o Rotor del ventilador con álabes inclinados .....	159
<b>Figura 145</b> Proceso de Rolado .....	160
<b>Figura 146</b> Carcasa o voluta del ventilador centrífugo .....	161
<b>Figura 147</b> Torneado del eje del motor del ventilador.....	161
<b>Figura 148</b> Acople motor, rodete y voluta del ventilador centrífugo.....	162

<b>Figura 149</b> Ventilador Centrífugo montado.....	162
<b>Figura 150</b> Acople de salida del ventilador centrífugo .....	163
<b>Figura 151</b> Recubrimiento del ducto interno con aislante .....	163
<b>Figura 152</b> Recubrimiento de ducto externo.....	164
<b>Figura 153</b> Codo entre salida del ventilador y ducto de entrada a la cámara .....	164
<b>Figura 154</b> Codo de ingreso a la cámara de secado .....	165
<b>Figura 155</b> Ducto de aluminio de 6" de diámetro .....	165
<b>Figura 156</b> Ducto de la chimenea .....	166
<b>Figura 157</b> Rollos de malla de acero inoxidable diferentes espesores.....	166
<b>Figura 158</b> Sección de malla de acero inoxidable.....	167
<b>Figura 159</b> Perfil de soporte lateral de bandejas .....	167
<b>Figura 160</b> Soldadura de perfiles de soporte de bandejas.....	168
<b>Figura 161</b> Bandeja en cámara de secado .....	168
<b>Figura 162</b> Pulido de aristas vivas de bandejas.....	169
<b>Figura 163</b> Instalación de bisagras de la puerta .....	169
<b>Figura 164</b> Seguro de Puerta.....	170
<b>Figura 165</b> Corte circular de pieza de acople.....	170
<b>Figura 166</b> Pieza guía de acople cortada.....	171
<b>Figura 167</b> Pieza guía de acople doblada.....	171
<b>Figura 168</b> Salidas circulares acopladas .....	171
<b>Figura 169</b> Maquinado de plancha de duralón.....	172
<b>Figura 170</b> Ensamble de acople de renovación de aire .....	172
<b>Figura 171</b> Sistema de renovación de aire montado .....	173
<b>Figura 172</b> Corte de tubo negro con tronzadora .....	173
<b>Figura 173</b> Secciones de la plancha de tol después de ser cortadas.....	174
<b>Figura 174</b> Proceso de doblado dl tol del gabinete de control .....	174
<b>Figura 175</b> Resultado del doblado para la estructura principal del gabinete de control.....	174
<b>Figura 176</b> Proceso de taladrado .....	175
<b>Figura 177</b> Proceso de soldadura del gabinete.....	175
<b>Figura 178</b> Estructura compacta del gabinete de control.....	176

<b>Figura 179</b> Gabinete en la cámara de curado después de ser recubierto con pintura electrostática .....	176
<b>Figura 180</b> Gabinete con bisagras .....	177
<b>Figura 181</b> Interruptor termomagnético GE de 2 polos, 63A, 220 V .....	177
<b>Figura 182</b> Contactor Metasol 65 A, 220 V .....	178
<b>Figura 183</b> Contactor Metasol 2P, 30 A, 220 V.....	178
<b>Figura 184</b> Resistencia eléctrica tipo U, antes del proceso de doblado .....	179
<b>Figura 185</b> Banco de Resistencias .....	179
<b>Figura 186</b> Terminales para conexión de resistencias .....	179
<b>Figura 187</b> Motor para aplicaciones térmicas .....	180
<b>Figura 188</b> Motor y elementos de montaje .....	180
<b>Figura 189</b> Selector tres posiciones .....	181
<b>Figura 190</b> Pulsadores NO (verde) y NC (rojo).....	181
<b>Figura 191</b> Relé ABB 2P, 30 A .....	182
<b>Figura 192</b> Luz Indicadora para encendido del sistema y para cada carga.....	182
<b>Figura 193</b> Pulsador tipo hongo .....	182
<b>Figura 194</b> Horómetro.....	183
<b>Figura 195</b> Rieles DIN y canaletas ranuradas para el montaje de elementos electrónicos.....	184
<b>Figura 196</b> Amarras plásticas y canaletas flexibles para el cableado.....	184
<b>Figura 197</b> Sensor de Humedad y Temperatura MT-530. ....	185
<b>Figura 198</b> Controlador de Humedad y Temperatura MT-530.....	185
<b>Figura 199</b> PLC Siemens Logo 230RC.....	186
<b>Figura 200</b> Montaje del PLC.....	186
<b>Figura 201</b> Programación para el Modo Automático.....	187
<b>Figura 202</b> Programación para le modo manual .....	188
<b>Figura 203</b> Reloj palpador.....	189
<b>Figura 204</b> Comprobación continuidad breaker principal .....	190
<b>Figura 205</b> Medición Voltaje de Alimentación.....	191
<b>Figura 206</b> Verificación de los mandos del circuito en modo manual.....	192
<b>Figura 207</b> Medición Velocidad de Aire de Ingreso a la cámara de secado.....	193
<b>Figura 208</b> Máquina secadora de cacao vacía.....	194

<b>Figura 209</b> Secador Cerrado para prueba en vacío .....	194
<b>Figura 210</b> Gráfica de datos tomados en vacío .....	196
<b>Figura 211</b> Peso Inicial del Cacao Fermentado .....	199
<b>Figura 212</b> Muestra de cacao secada.....	199
<b>Figura 213</b> Datos de la prueba de 840 g en 2,5 h.....	201
<b>Figura 214</b> Peso de la muestra después del secado.....	202
<b>Figura 215</b> Disposición de los granos en la bandeja.....	203
<b>Figura 216</b> Datos de la prueba de 510 g en 6 h.....	205
<b>Figura 217</b> Disposición de los granos de cacao después de Prueba2.....	206
<b>Figura 218</b> Granos secos Prueba 2 .....	206
<b>Figura 219</b> Granos fermentados 2 días en saco .....	207
<b>Figura 220</b> Prueba de Agua.....	208
<b>Figura 221</b> Prueba de agua probeta 250 ml.....	208
<b>Figura 222</b> Prueba de agua.....	209
<b>Figura 223</b> Cascarillas de 10 almendras de cacao.....	210
<b>Figura 224</b> Soluciones buffer ácida, neutra y básica .....	212
<b>Figura 225</b> Sistema de electrodos para medición del pH.....	213
<b>Figura 226</b> Medición de pH del cacao .....	213
<b>Figura 227</b> Costos vs. Ingresos .....	221
<b>Figura 228</b> Esquema de la botonera de control.....	233

**ÍNDICE DE CUADROS**

<b>Cuadro 1</b> Características de PLC Logo Siemens .....	137
<b>Cuadro 2</b> Diámetros aconsejables de cables acorde a temperatura y corriente .....	183

## RESUMEN

El proyecto está centrado en diseñar y construir una máquina secadora de cacao con aplicación agroindustrial para una finca ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, con el fin de reducir tiempos del proceso, sin afectar la calidad del producto. Las condiciones climáticas y las posibilidades de riego son los parámetros cuyos efectos son los más relevantes en la planta de cacao, *Theobroma cacao*, junto con factores como altitud y latitud influyen en los suelos donde estas se desarrollan. Después de la cosecha se procede a la fermentación, de 5 a 7 días; su resultado son almendras con una humedad aproximada al 50%, la cual se debe reducir a 7% con una tolerancia de 2%; presentándose aptas para su almacenamiento, comercialización o proceso de tostado. La temperatura es la variable principal, esta no debe exceder los 60°C, ya que se impediría la eliminación del ácido acético y repercutiría en el sabor final del chocolate; por lo cual el calor se incrementa paulatinamente hasta un margen menor a la temperatura máxima. El tiempo de deshidratación estimado es de 7 a 8 horas, este se reduce dramáticamente en relación al secado natural que dura entre 4 y 7 días. Para certificar la calidad del cacao se somete a pruebas de laboratorio que determinan su humedad y acidez; un pH mayor a 5.2 determina buena calidad en el cacao. Además sus propiedades organolépticas óptimas son una coloración marrón, sabor parecido al de frutas cítricas con un dulzor y aroma floral.

### **PALABRAS CLAVES:**

- *Theobroma cacao*
- **HUMEDAD**
- **ÁCIDO ACÉTICO**
- **DESHIDRATACIÓN**
- **CALIDAD**

## ABSTRACT

The project focuses on designing and building a machine dryer cocoa with an agro application for a farm in the province of Santo Domingo de los Tsáchilas, in order to reduce processing times, without affecting product quality. Climatic conditions and irrigation possibilities are the parameters whose effects are most relevant in the cacao plant, *Theobroma cacao*, together with factors such as altitude and latitude influence the soils where these are developed. After harvesting proceeds to fermentation, 5 to 7 days; its result are almonds with approximately 50% moisture, which must be reduced to 7% with a tolerance of 2%; appearing suitable for storage, marketing or roasting process. Temperature is the main variable, this should not exceed 60 ° C, since the elimination of acetic acid is prevented and repercussions on the final taste of chocolate; whereby heat is gradually increased to a maximum temperature less than the margin. The estimated dehydration time is 7 to 8 hours, this is dramatically reduced in relation to the natural drying lasts 4 to 7 days. To certify the quality of cocoa is subjected to laboratory tests to determine their moisture and acidity; pH greater than 5.2 determined in good quality cocoa. Besides its optimum organoleptic properties are a brown color, like citrus flavor with a sweetness and floral aroma.

### KEYWORDS:

- *Theobroma cacao*
- **MOISTURE**
- **ACETIC ACID**
- **DESHYDRATION**
- **QUALITY**

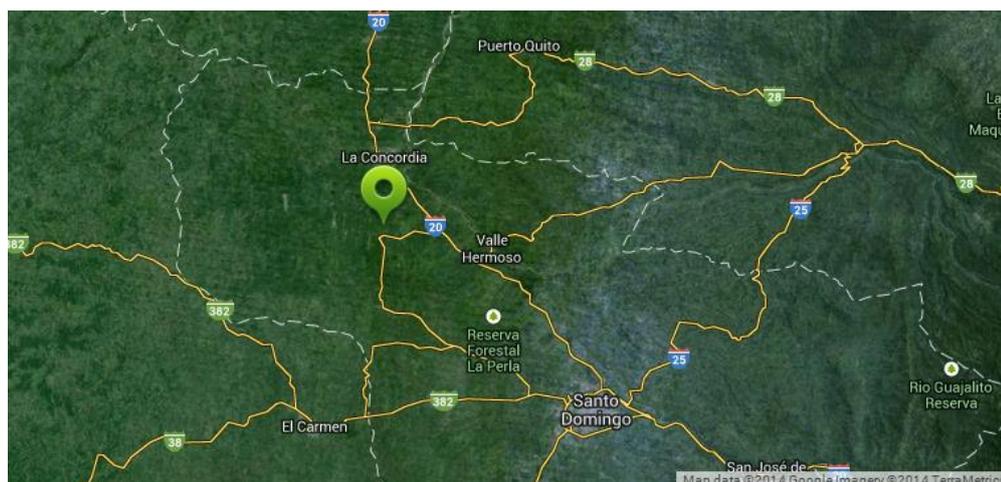
## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

El cantón de La Concordia, ubicado en la región noroccidental del Ecuador, específicamente en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cuenta con grandes extensiones de terrenos aptos para la producción de cacao, ya que tiene una altura aproximada de 650 msnm, sus suelos son fértiles, blandos, profundos y con un rango de 17 y 29 °C de temperatura, posee ciertas facilidades de riego debido a su alta pluviosidad y riqueza hidrológica. Tiene una superficie de 325 km<sup>2</sup>; limita al norte con los cantones Quinindé y Puerto Quito; al sur con la parroquia San Jacinto del Búa, del cantón Santo Domingo y con la parroquia rural San Pedro de Suma, del cantón El Carmen, provincia de Manabí; al este con la parroquia Valle Hermoso, del cantón Santo Domingo; al oeste con la parroquia rural Chibunga, del cantón Chone, provincia de Manabí.

El proyecto de secado de cacao se llevará a cabo en la finca “La Lolita”, vía Plan Piloto Km. 13.



**Figura 1 Ubicación Satelital de la Finca "Lolita"**

**FUENTE:**

([http://www.gosur.com/map/?satellite=1&awid=183914436&gclid=CjwKEAju4PCfBRCz966N9pvJ4GASJAAEdM\\_KiVey3-TFCcVzhJhCfXHw34cJvfH4tumqPBR5Tgt13BoCZ4Tw\\_wcB#](http://www.gosur.com/map/?satellite=1&awid=183914436&gclid=CjwKEAju4PCfBRCz966N9pvJ4GASJAAEdM_KiVey3-TFCcVzhJhCfXHw34cJvfH4tumqPBR5Tgt13BoCZ4Tw_wcB#), s.f.)

**Tabla 1***Condiciones de Clima y Suelo para la producción de Cacao*

<b>Condiciones de Clima y Suelo para la Producción de Cacao</b>			
<b>Condición</b>	<b>Característica</b>	<b>Valor</b>	
<b>Temperatura</b>	Rango Anual	17 a 29 °C	
	Límite Inferior	Mayor a 15 °C	
	Límite Superior	Menor de 30 °C	
	Oscilación día-noche	Menor a 9 °C	
<b>Precipitación</b>	Rango Anual	1200 a 2800 mm/año	
	Límite Superior (buen drenaje de suelos)	Menor a 3000 mm/año	
	Etapas de Campaña Cacaotera según Precipitación (ciclo no continuo)	Descanso	
		Brote	
		Floración	
Cosecha			
<b>Humedad Relativa</b>	Rango Anual	70 – 80%	
	Límite Superior (evitar plagas/enfermedades)	80%	
<b>Luminosidad</b>	Intensidad lumínica favorable	Mayor a 50%	
<b>Altitud</b>	Rango favorable	0-750 msnm	
<b>Suelo</b>	Tipo de suelo propicio	Aluviales de textura franca (arcilloso, arenoso y arena arcilloso)	
	Pendientes	Mayores a 25%	
	Rango pH	4.5 y 8.5	
	pH óptimo	5.5 a 6.5	
	Profundidad adecuada	1.5 a 2 m	
	Características Desfavorables	Suelo duro, superficial, altas concentraciones de aluminio, erosión de suelo.	

FUENTE: (<http://agricultura-tropical-ecuador.blogspot.com/2010/11/condiciones-de-clima-y-suelo-para-el.html>, s.f.)

La finca para la cual se realiza el diseño y la construcción del secador de cacao es un terreno de 30 hectáreas y la proyección hasta el año 2017 es de tener un 20% del área dedicada exclusivamente a este producto.

El proceso de secado de manera natural del grano de cacao en el Ecuador puede prolongarse hasta siete días, en los cuales se expone el grano al sol ubicándolo sobre

superficies de madera, hasta lograr obtener la humedad óptima de 7 al 9%. La necesidad que se desea solventar con el desarrollo del proyecto es la de reducir el tiempo en que se realiza esta etapa del procesamiento del producto.

La reducción del tiempo en que el cacao se encuentra listo para la distribución significa que el cliente requiere realizar su pedido u orden de compra con menor anticipación y puede realizar su posprocesamiento sin demoras o cumplir con su producción bajo condiciones emergentes o de último momento.

En el país se han realizado impulsados con la misma necesidad de disminuir el tiempo de producción sin sacrificar la calidad del cacao, proyectos a una escala menor como temas de tesis en el área de Automática y Control, Alimentos y afines, proponiendo una secadora híbrida cuyo soporte energético es a través de GLP y celdas fotovoltaicas, además de líneas artesanales.

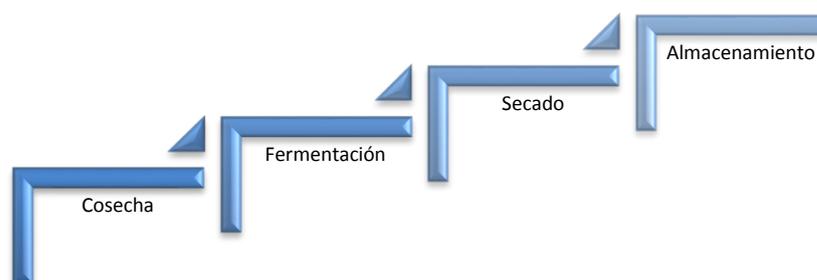
Manipulando un entorno controlado y la temperatura del aire de secado en una máquina secadora de cacao se pueden mejorar las velocidades en el proceso de secado de los granos de cacao, sin que ello signifique comprometer su calidad.



**Figura 2 Secadoras artificiales de cacao**  
**FUENTE: (Journal of Engineering and Applied Sciences )**

## **1.2 Justificación e importancia**

La producción artesanal del cacao supone que el fruto atraviese el siguiente proceso:



**Figura 3 Proceso Primario del Cacao**

Se ha planificado un incremento significativo en el área de sembríos de cacao en el terreno de la finca, para lo cual es poco óptimo delimitar una extensión de terreno lo suficientemente amplia en la que se pueda realizar el secado natural, ya que representaría dilapidar espacio que podría ser ocupado por más sembríos y por ende reducir ganancias.

Un período de secado natural de hasta 7 días, en los que se deben realizar constantes volteos manuales en condiciones de temperatura y humedad adecuadas, para obtener una humedad del 7 al 9% en el grano del cacao, y la posibilidad de absorción de aromas y sabores de las superficies con las que el grano tiene contacto, generan la necesidad de tecnificar el proceso y reducir el esfuerzo del operario encargado de estas labores e independizar las condiciones climáticas, generando las óptimas en un entorno cerrado.

### **1.3 Objetivos**

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

Diseñar y construir una máquina secadora de cacao, para una finca ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas con la que se pretende disminuir el tiempo de secado del mismo sin afectar su calidad, aroma y sabor.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Establecer las características de diseño mecánico a través de los requerimientos formulados por el propietario de la finca.

- Seleccionar los elementos eléctricos, electrónicos y de control acorde con los parámetros de funcionamiento del proceso.
- Definir diseños finales de elementos mecánicos, implementación de protecciones eléctricas, dispositivos de control y puesta a punto del sistema.
- Especificar los parámetros del sistema de control diseñado para el proceso de secado para que el grano no pierda cualidades de aroma y sabor.

#### 1.4 Descripción del proyecto



**Figura 4 Fruto de cacao y sus granos**

**FUENTE:** ([http://revistazonacentro.com/?os\\_zonas=produciendo-cacao-de-forma-organica-y-siendo-parte-del-comercio-justo](http://revistazonacentro.com/?os_zonas=produciendo-cacao-de-forma-organica-y-siendo-parte-del-comercio-justo), s.f.)

Los elementos de entrada al sistema de secado son el grano de cacao con una humedad de entre 65 al 80%; la salida es el mismo producto con la humedad que permite un almacenamiento sin peligro de proliferación de plagas y/o enfermedades, con un porcentaje final superior al 5% e inferior al 9%.

La máquina con control automatizado de humedad y temperatura surge a partir de la necesidad de tecnificar el proceso de secado de cacao, con el fin de utilizar de manera óptima el área disponible de terreno y reducir el tiempo en que el grano está listo para su distribución, sin afectar las cualidades de aroma y sabor del mismo.

A través de un análisis de alternativas se debe determinar debido a los requerimientos energéticos y una proyección de costos, cuál es la fuente o fuentes óptimas para la generación de calor en el sistema, sea ésta a través de un suministro de GLP, celdas fotovoltaicas de alta o baja potencia, resistencias eléctricas u otras.



**Figura 5 Fuentes de Energía posibles para la implementación del proyecto**  
**FUENTE:** (<http://www.diamore.com.ar/Blindadas.html>, s.f.)

Para el diseño mecánico del secador se realizará un estudio de los posibles modelos que permitan conservar la calidad del grano de cacao y nos brinden la posibilidad de realizar un proceso de secado artificial que reduzca el tiempo en el que la semilla tenga la humedad adecuada para evitar la proliferación de plagas, hongos o demás bacterias perjudiciales para esta materia prima.

El diseño debe facultar que se alcance una temperatura entre 45 y 60 °C, además que debe contemplar parámetros como: las facilidades para realizar la carga y descarga de la semilla. Se debe contemplar también el sistema aislamiento térmico, la fijación al lugar de trabajo y los elementos de montaje de sensores, actuadores y tablero de control.



**Figura 6 Montaje de sensores y actuadores en tablero de control**

**FUENTE:** (<http://ricardomogollon.skyrock.com/2533102579-tablero-electrico-de-control-con-plc-siemens.html>, s.f.)

Los actuadores involucrados en el proceso es un sistema de calentamiento de aire que ingresa a la cámara a través de un ventilador que faculte la distribución uniforme del calor.

Dentro de los sensores predefinidos a la realización del proyecto se hallan los que se encontrarán midiendo las variables del control del proceso que son sensores de humedad y temperatura del aire de secado.

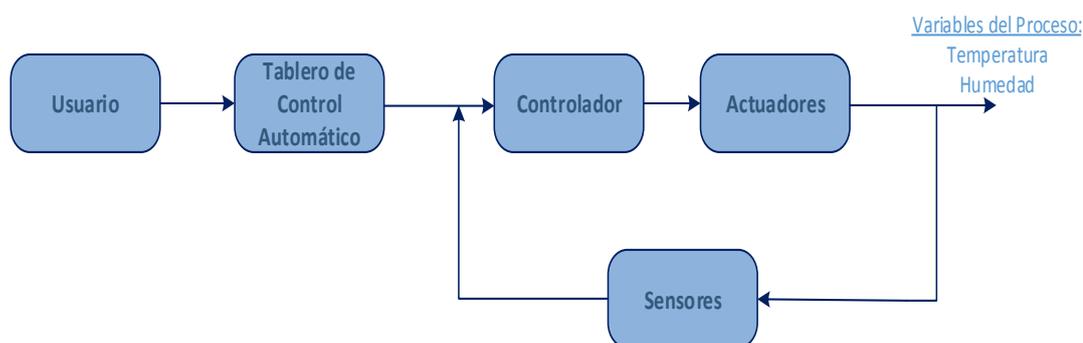


**Figura 7 Sensor de temperatura y humedad**

**FUENTE:** ([https://www.testo.com.ar/detalles\\_productos/0572+1765/testo-176-H1-Datalogger-de-humedad-y-temperatura-con-canales-externos-para-sondas-cableadas](https://www.testo.com.ar/detalles_productos/0572+1765/testo-176-H1-Datalogger-de-humedad-y-temperatura-con-canales-externos-para-sondas-cableadas), s.f.)

Estas variables enmarcadas en los valores predefinidos por los diseñadores, permitirán que se regule el proceso a través de controladores que se seleccionarán en el presente proyecto mediante criterios de optimización, con el objetivo de brindar flexibilidad al procesamiento en el cual se seca el grano de cacao.

A través de una realimentación del proceso de control en lazo cerrado se monitoreará de manera continua la temperatura y humedad del aire de secado, hasta llegar a una humedad del 7 a 8 % en el grano de cacao.



**Figura 8 Diagrama de Control en lazo cerrado para el proceso de secado de cacao**

Descripción del sistema de control:

- **Fase 1.** El usuario debidamente capacitado mediante manuales de usuario y de mantenimiento provistos por los fabricantes, a través del panel de control selecciona el tipo de proceso, si es manual o automático.
- **Fase 2.** El controlador recibe la señal de las condiciones iniciales de sensores que participan en el proceso y la señal de arranque del sistema.
- **Fase 3.** El control envía a los actuadores (motor del ventilador y sistema de calentamiento de aire) las señales de funcionamiento, bajo condiciones de seguridad previamente determinadas.
- **Fase 4.** Salidas óptimas de temperatura y humedad, que serán evaluadas por los sensores para determinar sus valores.
- **Fase 5.** Acondicionamiento de las salidas de los sensores para hacer uso de la señal análoga como una entrada más al controlador, en este caso un PLC.

El sistema requiere contar con procedimiento de parada de emergencia y seguridades como luces piloto que indiquen el correcto funcionamiento del mismo,

que aseguren que no requiere la presencia de un operario hasta que finalice el secado del grano.



**Figura 9 Luces piloto y pulsadores**

**FUENTE:** (<http://mejoreslinks.masdelaweb.com/pulsadores-de-marcha-y-paro/>)

## 1.5 Alcance del proyecto

### 1.5.1 Componentes mecánicos.

- Selección de los materiales para cada una de las partes componentes del secador de granos de cacao, acorde con las funcionalidades, las condiciones de trabajo como: temperatura, corrosión, humedad y entorno en general.
- Cálculo, diseño y construcción de bandejas perforadas para el secado de cacao.
- Cálculo, selección e implementación del sistema de calentamiento de aire.
- Diseño térmico-mecánico y construcción de la estructura del secador de granos de cacao y sus respectivos elementos que permitan hermeticidad en el mismo.
- Simulación virtual del diseño mecánico general para la máquina para lo que se hará uso del software Solid Works para el modelamiento en 3D, herramientas como Solid Works Simulation® para realizar un análisis de esfuerzos y también Solid Works Flow Simulation® para la simulación de distribución de flujo.

- Diseño, construcción e implementación de elementos de montaje de sensores y actuadores.
- Diseño, construcción y montaje del panel de control.

### **1.5.2 Componentes eléctricos/electrónicos.**

#### Potencia

- Diseño e implementación de la etapa de potencia para el arranque de motores, para el sistema de ventilación.
- Selección e implementación de las protecciones térmicas y/o eléctricas requeridas para cada etapa del sistema, evitando daños en sensores y actuadores de la red.

#### Instrumentación

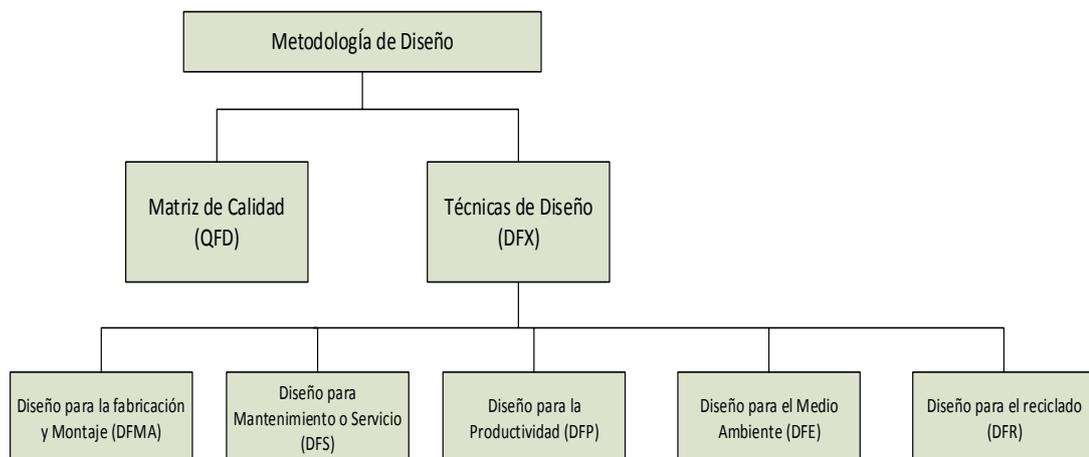
- Selección, implementación y acondicionamiento de sensores de: humedad relativa y temperatura
- Implementación de pulsadores, selectores y/o interruptores que permitan el control del proceso.
- Implementación de luces pilotos que verifiquen el correcto funcionamiento del secador.
- Cálculo y selección del tipo y diámetro del cableado para cada sección de las conexiones eléctricas y electrónicas.

### **1.5.3 Componentes de control.**

- Selección e implementación del control por medio de un Controlador Lógico Programable, que cuente o sea modularmente expandible o adaptable al uso de entradas analógicas a más de las entradas y salidas digitales requeridas en el secado.
- Diseño del sistema de control que incluya un funcionamiento manual y uno automático además de paradas de emergencia y seguridades para su manipulación.

## 1.6 Metodología de Diseño

La ingeniería concurrente o simultánea es el proceso de diseño que tiene en cuenta el impacto en todo el ciclo de vida del producto (diseño, fabricación, mantenimiento y reciclado). El beneficio de esta metodología es la reducción de costos en el diseño y fabricación y reducción de tiempo de desarrollo del producto.



**Figura 10 Mapa conceptual de la metodología del Diseño Concurrente**

**FUENTE:**

([http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2012/SP\\_02\\_Gestion\\_de\\_Operaciones\\_y\\_Produccion/919-926.pdf](http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2012/SP_02_Gestion_de_Operaciones_y_Produccion/919-926.pdf))

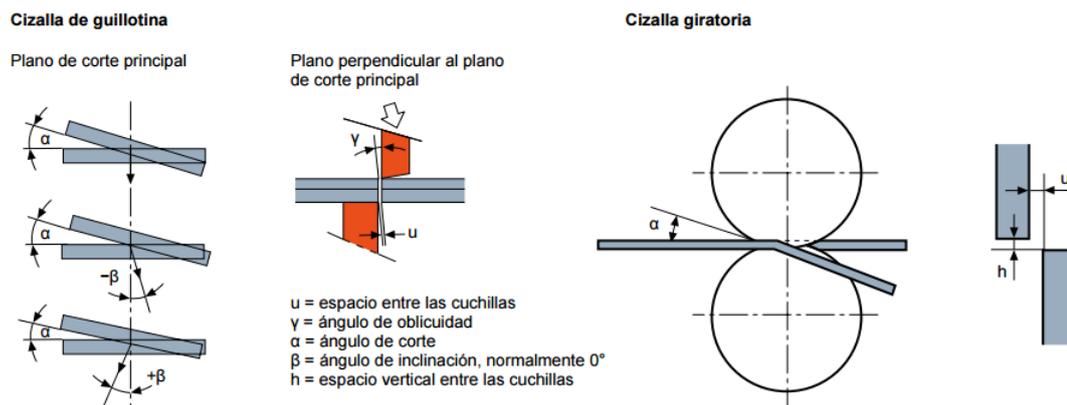
Como se observa en el mapa conceptual de la Figura 10 se delinear algunos conceptos que abarcan consideraciones para el ingeniero que llevará a cabo el diseño de la máquina. Cuidando facilitar la fabricación del modelo, su montaje y mantenimiento, sin descuidar la productividad y ser amigables con el medio ambiente.

## 1.7 Procesos de Manufactura

Para la construcción de la máquina se utilizarán procesos de manufactura como el cortado, doblado, soldadura, otros. Los procesos de manufactura son actividades y operaciones relacionadas, ordenadas y consecutivas, a través del uso de máquinas-herramientas o equipos, con el fin de transformar materiales para la obtención de un producto industrial. (Erazo Guerrero, 2008)

### 1.7.1 Cortado Mecánico.

En el proceso de corte se aplica una carga al material con el fin de provocar una fractura en el mismo, las operaciones de corte son posibles en casi todos los materiales en lámina, dependiendo específicamente de la forma de trabajo esta operación toma nombres como: cizallado, punzonado o troquelado, partición, recortado, mordido.



**Figura 11 Procesos de corte mecánico**

**FUENTE:** ( <http://www.ruukki.es/~media/Spain/Files/ES%20technical%20brochures/Ruukki-Procesamiento-del-acero-laminado-en-caliente-Corte-mecanico.pdf>)

El corte por cizallamiento es un método por el cual se cortan láminas, alambres o barras de materiales metálicos, utilizando herramientas con una forma de acuerdo a los propósitos que se requieran. (Naranjo, 2006)

Para efectuar el corte por se necesita de tres elementos básicos:

- Cuchilla móvil
- Cuchilla fija
- Sujetador de chapa

### 1.7.2 Doblado.

Una de las operaciones más comunes en el conformado de metal por deformación, es el doblado, proceso que, desde una concepción básica, consiste en la fabricación de piezas con rebordes, bucles y ondulaciones, mediante una prensa (<http://www.metalactual.com/revista/15/doblado.pdf>)

Se toman en cuenta tres parámetros para el doblado que ayuda a analizar las propiedades mecánicas del material en el que se va a trabajar y determina la precisión de las medidas de la pieza que se desea obtener.



**Figura 12 Proceso de doblado**

**FUENTE:** (<http://www.multigroup.com.gt/?PAGE=17&PRODUCT=8>)

### 1.7.3 Soldadura.

Se le llama soldadura a la unión de dos materiales (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de un proceso de fusión en el cual las piezas son soldadas derritiendo ambas y agregando metal o plástico derretido para conseguir una "pileta" (punto de soldadura) que, al enfriarse, forma una unión fuerte.

La energía necesaria para formar la unión entre dos piezas de metal generalmente proviene de un arco eléctrico, pero la soldadura puede ser lograda mediante rayos láser, rayos de electrones, procesos de fricción o ultrasonido. (Erazo Guerrero, 2008)

## Designación de acuerdo con ANSI/AWS A3.0:2001

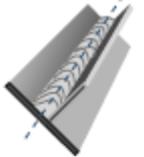
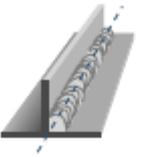
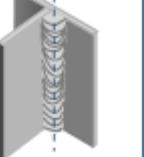
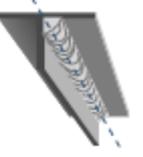
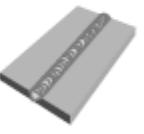
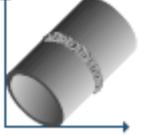
Plano	Horizontal	Vertical	Sobrecabeza
<b>Uniones de filete</b>			
			
1F	2F	3F	4F
<b>Uniones biseladas</b>			
			
1G	2G	3G	4G
<b>Uniones de tuberías</b>			
La tubería se rota mientras se suelda 		La tubería no se rota mientras se suelda 	
1G	2G	5G	6G

Figura 13 Posiciones de soldadura

FUENTE: (Indura S.A., 2013)

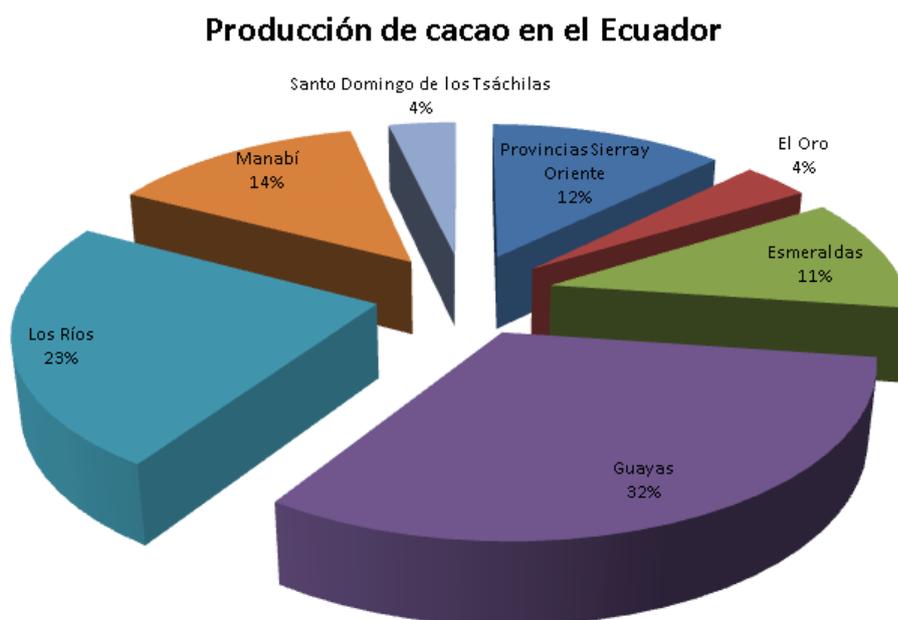
## CAPITULO II

### FACTORES DEL MEDIO AMBIENTE Y ANÁLISIS DE CONDICIONES DE SECADO

#### 2.1 Principales Zonas de Producción a Nivel Nacional

La producción de cacao se realiza principalmente en la región costanera.

Se identifican tres zonas ecológicamente distintas (norte, central y sur) comprendidas entre las latitudes 1,5°N y 4°S, las mismas que incluyen pequeñas áreas de las estribaciones de la cordillera Occidental. Las provincias de la región Oriental se las considera como la zona oriental. (Vera, 1993)



**Figura 14 Zonas de producción de cacao en Ecuador**

FUENTES: (MAGAP, SINAGRO, INEC, ESPAC, 2010)

#### 2.2 Factores Climáticos

La Temperatura y las posibilidades de riego son los parámetros cuyos efectos son los más relevantes en la planta de cacao, junto con factores como altitud y latitud influyen los suelos donde las plantas se desarrollan.

Por lo cual se detallarán las condiciones favorables para la producción de cacao y a continuación se describirá los mismos factores en la localización geográfica según la provincia y el cantón al que pertenece la hacienda “La Lolita”.

### 2.2.1 Temperatura.

Se considera un clima óptimo para el cultivo de cacao, en las regiones cuya temperatura oscila entre 15 y 32 °C en la mayor parte del mes. (Prabhakaran, 2010).

La tabla 2, es una descripción climática ha sido elaborada a partir de datos suministrados en las tablas de Clima a Nivel Regional y Provincial de los Boletines Agroclimáticos del presente año obtenidos del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca a través del Sistema de Información Nacional.

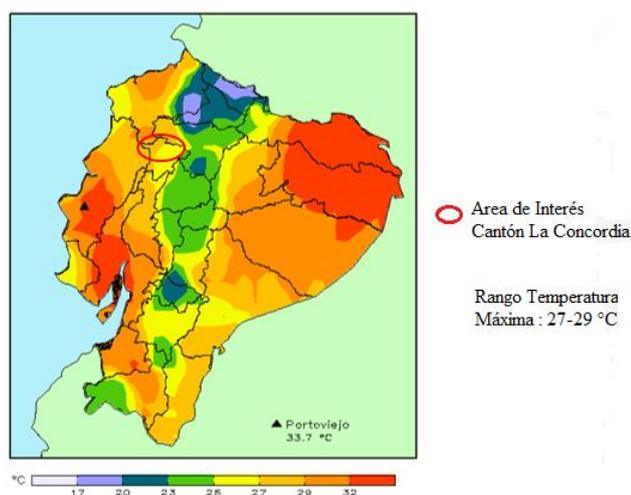
**Tabla 2**

*Temperatura Mensual del cantón La Concordia 2013-2014*

<i>Mes</i>	<i>Temperatura del Cantón La Concordia [°C]</i>	
	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<i>Enero</i>	25.2	25.2
<i>Febrero</i>	25.5	25.3
<i>Marzo</i>	26.2	26.1
<i>Abril</i>	26.2	26.0
<i>Mayo</i>	24.9	26.0
<i>Junio</i>	24.6	25.6
<i>Julio</i>	24.1	25.1
<i>Agosto</i>	24.4	24.9
<i>Septiembre</i>	24.9	24.7
<i>Octubre</i>	25.3	No Aplica
<i>Noviembre</i>	25.7	No Aplica
<i>Diciembre</i>	26.0	No Aplica

La mínima temperatura que sustenta un desarrollo favorable del cacao es no menor a 10 °C, debajo de lo cual corre el riesgo de sufrir daños por congelamiento, puede pasarse el desarrollo del fruto.

Estos límites en cuanto a la temperatura la localizan en latitudes máximas de 8° al norte y al sur de la línea ecuatorial, lo cual se verá modificado dependiendo de la altitud del terreno. Como referencia se puede tomar que la disminución de temperatura acorde al aumento de elevación será de 4.5 a 5 °C/Km.



**Figura 15 Mapa Distribución de Temperatura Máxima del Ecuador 08 de Noviembre de 2013.**

FUENTE: (<http://www.serviciometeorologico.gob.ec/mapas-climaticos/>)

### 2.2.2 Heliofania y Luminosidad.

Las zonas productivas del Ecuador deben contar con una heliofania u horas de brillo solar en promedio de 4 por día, con temporales soleados y lluviosos llegan a ser de manera anual 800 a 1000 h/año, este factor influye de manera directa en el crecimiento y fructificación de la planta de cacao. Además se debe relacionar de manera directa con la disponibilidad de agua y los nutrientes presentes en el suelo (nitrógeno, potasio, calcio, fósforo, magnesio y zinc). (Morán, 2008).

### 2.2.3 Precipitación.

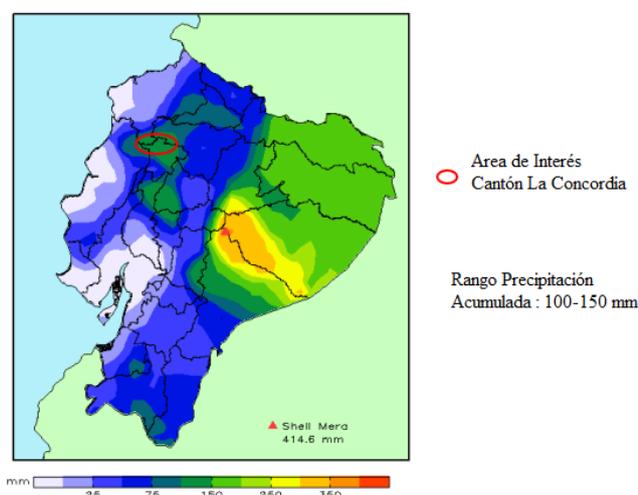
Los dos parámetros relacionados a las precipitaciones son la cantidad total y su distribución; en las zonas cacaoteras alrededor del mundo el volumen anual de lluvias asciende desde los 1500 a 3000 mm.



**Figura 16 Datos Climáticos del Cantón La Concordia 2013-2014**

La gráfica permite concluir que el rango climático de entre 23 y 26 °C está dentro del propicio para la producción y el nivel de lluvias es óptimo entre los meses de mayo a diciembre, y se requieren sistemas de riego complementario desde el mes de enero hasta mediados de abril, para satisfacer la demanda de la evapotranspiración, que es la pérdida de humedad en la superficie del suelo por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.

Una precipitación mayor al límite superior significará exceso de lluvias y continuidad de las mismas en largos períodos del año, favoreciendo la incidencia de ciertas enfermedades.



**Figura 17 Mapa Distribución de Precipitación Acumulada del Ecuador Diciembre 2013.**

**FUENTE:** (<http://www.serviciometeorologico.gob.ec/mapas-climaticos/>)

Según la distribución de precipitaciones que se obtuvo del mes de Diciembre de 2013 se pueden hacer las siguientes predicciones, suponiendo un comportamiento promedio de las lluvias.

**Tabla 3**

*Precipitaciones Acumuladas Anuales Calculadas en el cantón La Concordia*

<b>Cálculo del Rango de Precipitación Acumulada Anual en el cantón La Concordia</b>	
<b>Mínimo</b>	$100 \text{ mm} \times \frac{365 \text{ días}}{30 \text{ días}} = 1216.67 \text{ mm/año}$
<b>Máximo</b>	$150 \text{ mm} \times \frac{365 \text{ días}}{30 \text{ días}} = 1825 \text{ mm/año}$

#### **2.2.4 Humedad Relativa.**

La humedad relativa como concepto expresa la relación de porcentaje de humedad del aire con respecto a la que requeriría para saturarse a una misma temperatura. Factor que debe oscilar entre un 70 y 80% para no afectar las plantaciones.

Se debe evitar cultivar áreas donde haya presencia de vientos fuertes porque pueden destruir las ramas, volcar o dañar plantas.

### **2.3 Características del Cacao**

#### **2.3.1 Zona de Origen del Cacao.**

El cacao (se presume que tuvo su origen en los vocablos mayas “Kaj” que significa “amargo” y “Kab” que significa “jugo” “Kajkab” que cambió a “cacauatl” por facilidad de expresión se transformó en “cacao”) es una especie nativa de los bosques húmedos tropicales en las laderas orientales ecuatoriales bajas de los Andes en América del Sur, fue cultivado y consumido por primera vez por los mayas y aztecas, desde el centro de origen la especie se extendió a través de Venezuela,

Colombia, Ecuador, América Central, México, en el valle del Amazonas en el norte de Brasil y Guyana, islas del Caribe.

En el Ecuador comenzó a cultivarse en la Costa del país al inicio del siglo XII.

### 2.3.2 Taxonomía.

El cacao se conoce científicamente con el nombre de *Theobroma cacao*, procede del griego “Theos” significa “Dios” y “broma” significa “alimento”.

**Tabla 4**

*Taxonomía del cacao*

<b>Reino</b>	<b>Vegetal</b>
<b>Tipo</b>	Espermatofita
<b>Subtipo</b>	Angiosperma
<b>Clase</b>	Dicotiledónea
<b>Subclase</b>	Dialipétalas
<b>Orden</b>	Malvaes
<b>Familia</b>	Esterculiácea
<b>Tribu</b>	Buettneriea
<b>Género</b>	Theobroma
<b>Especie</b>	<i>Theobroma cacao</i>

FUENTE: (Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico , 2012)

### 2.3.3 Morfología.

El cacao es una fruta de origen tropical, su árbol llamado cacaotero crece por niveles y en estado silvestre llega a medir hasta 9 m, los árboles cultivados son más pequeños para facilitar la cosecha, estos no sobrepasan los 2 o 3 m. Sus hojas son de forma oval de color rojizo cuando la planta es joven y verde brillante cuando es adulta.

Las flores son hermafroditas, son pequeñas con pétalos color amarillo y sépalo rosado crecen en el tronco o las ramas más gruesas, las flores se abren de 20 a 25 días después de aparecer el botón floral, producen entre 40 a 60 óvulos, las flores que no

son fertilizadas en un periodo de 24 horas caen después de tres días de su apertura, la polinización se produce con la ayuda de pequeños insectos rastreros que son apenas visibles a simple vista, el más importante de los insectos polinizadores es el mosquito *ceratopogonid* del género *Forcipomyia*, la polinización se da en las primeras horas del día.



**Figura 18** Árbol de cacao con frutos

**FUENTE:** (<http://lat.wsj.com/articles/SB10001424052702303404704577312253147649784>)

De no dar resultado la polinización natural por la incompatibilidad (presencia de barreras genéticas que impiden el proceso natural de fecundación de la flor ya sea a si misma o con otras plantas de cacao.) del cacao, existe la polinización cruzada que consiste en el control genético de las reacciones de incompatibilidad para esto es necesario sembrar varios cruces o clones para asegurar el éxito de la polinización y producción de frutos.



**Figura 19** Flor de del árbol de cacao

**FUENTE:** (<http://ecuadorcostaaventura.com/cacao.html>)

El fruto consta de una cáscara gruesa cambia de color a amarillo purpurea o roja cuando madura, contiene de 30 a 60 semillas. Las almendras poseen un recubrimiento que contiene alrededor de un 10 a 15% de azúcar, llamada "pulpa"; las semillas se

mantienen en posición con la ayuda de la placenta. El tamaño, forma y color de la semilla varía según el tipo de cacao.



**Figura 20 Semillas de cacao**

FUENTE: (<http://ecuadorcostaaventura.com/cacao.html>)

**Tabla 5**

*Componentes del cacao*

Componentes del cacao	Porcentaje
<b>Grasa</b>	57.0
<b>Proteína</b>	7.0
<b>Carbohidratos</b>	7.0
<b>Theobromina</b>	1.7
<b>Humedad</b>	6.0
<b>Residuos totales</b>	2.7
<b>Minerales</b>	1.1
<b>Pectina</b>	4.1
<b>Fibra</b>	2.1
<b>Celulosa</b>	1.9
<b>Pentosanas</b>	1.2
<b>Mucilago y gomas</b>	1.6
<b>Taninos</b>	6.2

FUENTE: (Prabhakaran, 2010)

## 2.4 Clasificación del Cacao

Desde el punto de vista genético, la especie *Theobroma cacao* se ha clasificado de manera general en tres grandes grupos: cacao Criollo, cacao Forastero, y cacao

Trinitario. En la actualidad se conoce que existen otros grupos y genotipos muy diversos de cacao, que aún no se han clasificado de manera adecuada, tal es el caso de la variedad Nacional de Ecuador. (Sotomayor, 2011)

#### 2.4.1 Criollo.

Cuando está maduro, las vainas son de color rojo o amarillo, posee surcos profundos y rugosidades notables. La corteza del fruto es delgada, semillas grande y casi redonda, cotiledones blancos o violeta pálido, que son menos astringentes. Los granos fermentan rápidamente, pero el rendimiento es pobre. Ella produce el cacao de mayor calidad. Se puede subdividir en criollo centroamericano y venezolano criollo. (Prabhakaran, 2010)



Figura 21 Cacao Criollo Fruto y almendras

FUENTE: ([http://historias6b.blogspot.com/2012/06/normal-0-21-false-false-false-es-ve-x\\_5926.html](http://historias6b.blogspot.com/2012/06/normal-0-21-false-false-false-es-ve-x_5926.html))

#### 2.4.2 Forastero.

Inmaduro sus vainas son de color verde, se vuelven amarillas en la maduración, discretamente surcado y arrugado, de superficie lisa y extremos redondeados o puntiagudos, pared de la vaina gruesa, semillas aplanadas, cotiledones frescos son violeta oscuro, resultando en un astringente producto. La árboles dar alto rendimientos y son robusto. Calidad es no comparable con criollo. Los frijoles toman 5-6 días para la fermentación. (Prabhakaran, 2010)



**Figura 22 Cacao Forastero Maduro**

**FUENTE:** ( <http://www.jivacubes.com/wp-content/uploads/2013/08/cacaobeancomparison.jpg>)

El **cacao Nacional** pertenece al grupo forastero, produce almendras de gran tamaño con cotiledones ligeramente marrones, diferenciándose por su aroma delicado a chocolate acompañado por un pronunciado sabor floral, denominado como sabor Arriba, gracias a los cuales tienen amplia aceptación en la industria de chocolates finos y es reconocido internacionalmente. En la actualidad, la mayor parte del cacao exportado por Ecuador corresponde a una mezcla de Nacional y de Trinitarios.

### **2.4.3 Trinidad.**

Estos se originaron en Trinidad a partir de una mezcla genética de los criollos y forasteros. Estos son heterogéneos y presentan una amplia gama de características morfológicas y fisiológicas. Es difícil especificar los caracteres de trinitarios como ellos pueden tener vaina y semilla característica que van desde los típicos criollos a los de los forasteros.

Dentro de esta variedad se encuentra el **CCN51** y es una variedad híbrida, producto de la investigación particular en el Ecuador en la zona de Naranjal, el mismo que presenta alta producción, alta calidad de fermentación y tiene mayor peso, homogeneidad y contenido de grasas, además presenta alta tolerancia a las enfermedades, pero no tiene el aroma que posee el Nacional.

Acorde a la categorización comercial las almendras de cacao son: El cacao “ordinario” y el “fino y de aroma”

- El cacao ordinario, pertenece esencialmente al tipo forastero. Se caracteriza por un fuerte aroma a chocolate y sabor amargo.

- El cacao Fino y de Aroma, pertenece a los criollos y trinitarios. Se caracteriza por su aroma a chocolate y sabor frutal.

Ecuador es el mayor productor y exportador de cacao -fino de aroma del mundo con una participación del 63% del mercado mundial en el 2012. (PROEcuador, s.f.)

La actual producción del Ecuador, llamado Complejo Tradicional, está compuesta por una mezcla entre cacao Arriba, trinitario y variedades híbridas.

Con el fin de obtener mejores rendimientos y un cacao fino de aroma de calidad se recomienda utilizar plantas injertadas de los clones del INIAP adaptados a las condiciones de la zona: Para Santo Domingo de los Tsáchilas se han desarrollado EET 19, EET 95, EET 96, EET 103 y EET 575. (INIAP Dirección de Transferencia de Tecnología, 2012). Se recomienda por huerta un mínimo de tres clones diferentes, ya que se corre el riesgo de perder toda la plantación por incidencia de enfermedades; en el caso específico de la hacienda “La Lolita” se encuentran en fases de crecimiento y de producción los clones EET 95, EET 96 y EET 103.



**Figura 23 Clones aptos para la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas**  
**FUENTE:** (<http://cacaoplus.weebly.com/artiacuteculos-teacutecnicos.html>)

## 2.5 Procesamiento Post Cosecha

### 2.5.1 Fermentación.

Es el proceso catabólico mediante el cual se transforma la materia viva en desechos, en el cacao se efectúa esto para obtener una buena calidad, sabor y aroma.

La fermentación se debe realizar en un lugar que este destinado únicamente para el cacao es decir que no se guarden otros materiales, menos combustibles, agroquímicos u otros contaminantes, tampoco se debe permitir la entrada de animales y debe ser un lugar ventilado.

Una fermentación normal debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- 0-2% de almendras pizarras (apariencia negra azulada)
- 35% de almendras parcial o totalmente violetas
- 65% de almendras completamente marrones (si este porcentaje es mayor se corre el riesgo de sobre fermentación)

Cuando las almendras están bien fermentadas el interior es de color marrón y son quebradizas al tacto, como galletas.



**Figura 24 Fermentación del cacao**

FUENTE: (<http://www.flordebaba.com/>

NORMA\_T%C3%89CNICA\_ECUATORIANA\_NTE\_INEN\_176\_y\_177.pdf)

Existen varios métodos de fermentación descritos a continuación:

#### **2.5.1.1 En montones.**

Este método es el más usado por pequeños y medianos productores de cacao, consiste en colocar las almendras sobre un piso de madera para que los jugos se puedan

escurrir por el desnivel del piso. Estos montones deben ser movidos de un lugar a otro para obtener una mejor fermentación. Dependiendo del tipo de cacao la fermentación lleva de 3 días en cacao Criollo, 3 a 5 días en cacao Trinitario (hibrido más común en el campo ecuatoriano), 6 a 8 días en el cacao Forastero (casi no existe en el país).



**Figura 25 Fermentación de cacao en montones**

**FUENTE:**

([http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/ceniaphoy/articulos/n5/arti/rliendo2.htm](http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n5/arti/rliendo2.htm), s.f.)

#### **2.5.1.2 En sacos.**

Método usado por pequeños productores, se abre la mazorca y se ubican las almendras en los sacos de plástico o yute para recolección de cacao, estos sacos no deben estar contaminados por ningún material agroquímico, por tanto deben estar bien lavados; se cuelgan los sacos para una mejor ventilación, se debe cambiar de saco cada día para obtener una mejor fermentación, el periodo de fermentación es de 2 a 3 días o de 3 a 5 días.

Este método es uno de los menos recomendables pues si no se remueven las almendras del recipiente diariamente la fermentación es deficiente o quedan muchas almendras sin fermentar.



**Figura 26 Fermentación de cacao en sacos**

**FUENTE:** (<http://www.fundesyram.info/biblioteca/displayFicha.php?fichaID=3187>)

### 2.5.1.3 En cajas.

El tamaño de caja básica para este método de fermentación es de 80cm a 120cm de ancho, 90cm de altura, y largo variable de acuerdo a la producción de la finca. Lo ideal es de 90cm para facilitar el manejo, pero puede variar ligeramente para las necesidades del lugar.

Se recomienda usar maderas blancas y sin sustancias como taninos o resinas, como por ejemplo el laurel (*Cordia alliodora*). (Enriquez, 2010)

Las cajas deben ser curadas, es decir que las primeras fermentaciones que se realicen no serán de muy buena calidad, a partir de la tercera fermentación se puede ya analizar las propiedades de las almendras y ajustar los tiempos de remoción.

Este es el método más recomendado, por la eficiencia y la calidad de fermentación que se logra.



**Figura 27 Fermentación de cacao en cajas**

**FUENTE:** (<http://www.inforegion.pe/portada/130835/construccion-de-modulos-para-atender-cacao-marcha-sin-contratiempos/>)

Si se decide el sistema en escalera como se muestra en la figura 27, las dimensiones recomendadas son 94cm x 100cm y 90cm de altura, se pueden usar 3 niveles esto servirá para fermentar por 3 a 6 días, dependiendo del manejo que se le dé a la remoción de almendras.

La primera caja del sistema debe estar perforada en su base con hoyos de 7 mm a 8 mm de diámetro, separados de 5cm a 8cm cada uno, para dejar escurrir los jugos iniciales de la fermentación.

La segunda caja debe tener perforaciones del mismo diámetro pero distanciadas de 8cm a 10cm cada uno.

Para todas las cajas se debe prever un drenaje para los jugos de fermentación.

Al construir las cajas se las debe hacer con cuñas para su ensamblaje.

#### **2.5.1.4 En tendales.**

En este método las mazorcas se cosechan en la mañana, se abren en la tarde y se amontonan durante la noche, cubriendo los montones con hojas de plátano, bijao o con otros materiales para protegerlas del frío. A la mañana siguiente se remueven las almendras y se las vuelve a cubrir inmediatamente, después de 36 a 40 horas de fermentar se extienden las almendras en capas muy delgadas y se deja para que siga fermentando. El proceso de fermentación es de 2 días.



**Figura 28 Fermentación de cacao en tendales**

**FUENTE:** (<http://chocolatechapin.globered.com/categoria.asp?idcat=45>)

## **2.6 Proceso de Secado**

Después de la fermentación las almendras contienen alrededor del 55% de humedad, la cual se debe reducir de 6% a 8%, con lo que se puede almacenar y comercializar el cacao.

Durante este proceso el grano de cacao es vulnerable a ser afectado por malos olores o contaminado con humo. La temperatura es un factor muy importante pues un secado rápido puede afectar el sabor final del chocolate, no deber ser mayor a 60°C.

Se recomienda que la capa de grano para secar de manera natural o artificial no exceda los 5 centímetros de espesor y se remueva el grano con el fin de obtener secado uniforme siempre con utensilios de madera. (Enríquez, 1995)

A continuación se detalla los principales métodos de secado de grano de cacao:

### **2.6.1 Al sol.**

Se realiza en tendales de madera (más eficientes y económicos), bambú, cemento u otros materiales refractarios. Se expone las almendras a los rayos del sol y al secarse lentamente completa de manera adecuada los cambios bioquímicos que logran el sabor y aroma típico de su genotipo.



**Figura 29 Secado de cacao al sol**

**FUENTE:** (<http://www.canacacao.org/galeria/cultivos/album/9>)

Se suele secar el cacao en los bordes de aceras y carreteras para aprovechar el asfalto, pero esto no es recomendable ya que afecta la calidad y sabor del cacao debido a la contaminación del ambiente a la que está expuesto.

### **2.6.2 Estufas artificiales.**

Son secadoras mecánicas, la mayoría se basa en el paso del aire seco y caliente por la masa no muy gruesa de cacao. (Enriquez, 2010)

### ***2.6.2.1 Secadora Artificial con Leña.***

Son muy utilizadas en Camerún, Costa Rica, Zaire, Samoa, Brasil, entre otros países, los cuales tienen periodos de lluvias donde el secado natural es imposible, de esta manera no se desperdicia tiempo ni almendras.

### ***2.6.2.2 Secadora Artificial de combustible.***

Dependiendo de las posibilidades de la finca se puede utilizar varios tipos de combustible como gas, diésel, kerosén, etc. Se debe realizar las adecuaciones necesarias ya que la combustión de estos materiales no es limpia, por lo tanto se debe evitar el contacto de los gases emanados con las almendras en todo el proceso de secado. Para lo cual se debe instalar chimeneas dispuestas para la salida de estos gases y el aire que se caliente sea independiente, para evitar la contaminación.

### ***2.6.2.3 Secadora Artificial eléctrica.***

Algunas fincas cuentan con electricidad que puede ser más barato que los combustibles, a pesar que se cuenta con dispositivos como resistencias electrónicas, ventiladores, etc. Hay que tener en cuenta que existen sistemas de aire forzado para este tipo de secadora, los cuales son muy costosos, pues requieren de mucha energía.

En ambos casos tanto en la secadora con combustible como en la secadora eléctrica se debe tener en cuenta que no sobrepase las necesidades de la finca. Se puede alternar con el secado natural y secado artificial.

Es recomendable que durante las primeras horas de secado se inicie con una temperatura de 30°C a 35°C, para posteriormente incrementarla a 60°C. No es conveniente iniciar 60°C, pues las almendras pueden dañarse y perder todas las características de calidad propias de su genotipo. (Enriquez, 2010)

### ***2.6.2.4 Secadora Samoa.***

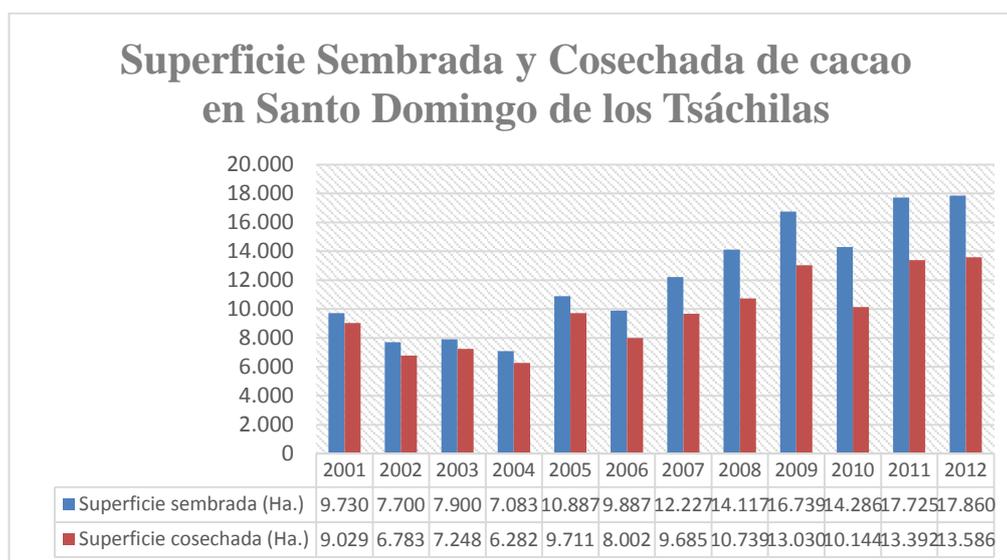
Consiste en un tubo de metal, donde se pone la fuente de calor que puede ser leña, combustible o electricidad. Sobre el tubo a una distancia de 120cm se coloca una

plancha perforada donde van las semillas y se tapa con un techo. Es una de las secadoras más sencillas y baratas. (Enriquez, 2010)

## 2.7 Capacidad de producción

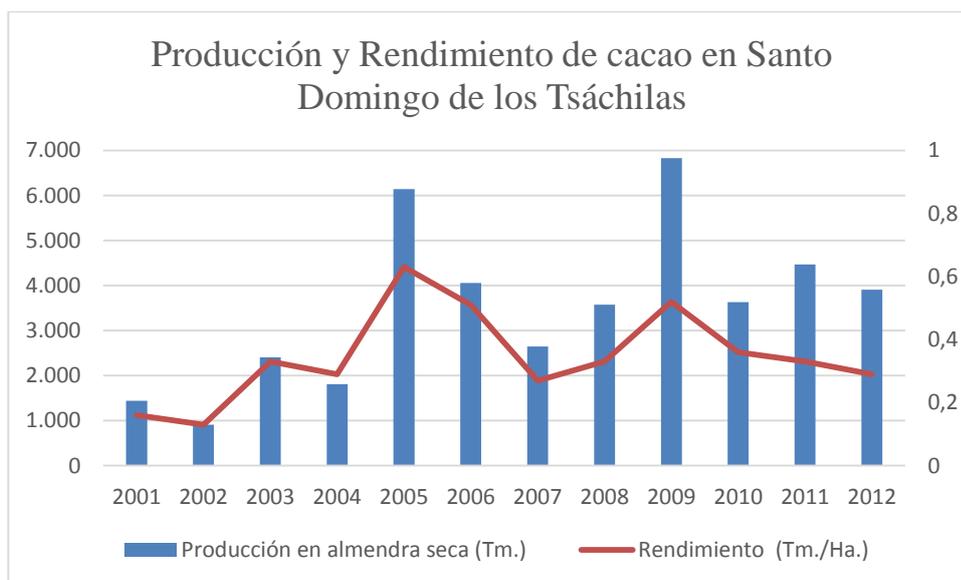
Según datos tomados de manuales de manejo que INIAP provee se tienen datos de que con un manejo no especializado de cultivos de cacao se tiene un rendimiento de 6 qq/Ha (0.6 Tm/Ha), sin embargo un correcto manejo, utilización de clones desarrollados para las condiciones ambientales de la zona y cuidados de plagas podría potencializar la producción hasta los 30 qq/Ha (3 Tm/Ha), incrementando de 1 a 5 la producción, factores que se han tomado en cuenta para la siembra de cacao en la hacienda ubicada en el cantón de La Concordia.

A continuación se observa diagramas representativos de las áreas sembradas y cosechadas del fruto, y finalmente un índice de la producción en toneladas y su rendimiento, cifras provistas por el SINAGAP y datos obtenidos por medio del MAGAP, actualizados hasta marzo de 2014.



**Figura 30 Datos Superficie Sembrada y Cosechada de cacao en Santo Domingo de los Tsáchilas**

**FUENTE: (MAGAP, SINAGAP, 2013)**



**Figura 31 Datos de Producción y Rendimiento de cacao en Santo Domingo de los Tsáchilas**  
**FUENTE: (MAGAP, SINAGAP, 2013)**

Cabe mencionar que los bajos rendimientos responden a la cantidad de humedad que tiene la almendra del cacao al cosecharse, mediante la aplicación de la norma INEN 173, se determinó la humedad del cacao en un rango del 38 al 58%, cuyo promedio con las pruebas realizadas alcanzó un 47%, razón por la cual su peso como grano seco es cerca de la mitad de su peso al ser cosechado.

## 2.8 Tiempo de Secado

### 2.8.1 Secado Natural.

Aprovechando la radiación solar directa que permita la continuación de algunos cambios que las almendras no han concluido durante su fermentación, acorde a la intensidad demora entre **4 y 6 días** sobre pisos de madera o bambú rajado, de naturaleza fija y móvil, ciertos modelos ofrecen protección contra las lluvias o facilidades para movilizar los contenedores del grano y se requiere 6 m<sup>2</sup> de tendal por cada quintal de cacao.

Si la intensidad del sol es muy fuerte los primeros días se recomienda exponer las almendras por períodos de 3 a 4 horas diarias con remociones cada hora.

### 2.8.2 Secado Artificial.

Recomendado para grandes plantaciones, donde resulta dificultoso secar toda la producción por el método natural o las lluvias coinciden con los tiempos de cosecha.

Se usa corriente de aire caliente con el cuidado de no producir contaminaciones, sus fuentes de carbón pueden ser de leña, carbón minera, diésel o electricidad. Con un período de 20 a 36 horas con temperaturas entre 50 y 60 °C. (Enríquez, 1995)

El secador de tipo estacionario, actualmente demora de **8 a 16 horas** con el máximo de temperatura de 60 °C, ya que al exceder este limitante se impide la eliminación del ácido acético de la almendra, para simular condiciones ambientales se recomienda ciclos de 2 horas de calor y 2 horas de ventilación. (Piza, 2009)

## 2.9 Calidad del cacao

Para determinar la calidad del cacao se deben tomar en cuenta ciertos parámetros como el peso del grano, porcentaje de cascarilla, porcentaje de impurezas, sabor y aroma (esta calificación es realizada por catadores especializados). Estas características están determinadas por el cumplimiento adecuado de las buenas prácticas de cultivo y post-cosecha.

Según la norma INEN 176 los requisitos específicos para calificar la calidad del cacao son:

- Porcentaje máximo de humedad del cacao será 7,5%.
- El cacao no deberá estar infestado.
- El cacao beneficiado no deberá exceder el 1% de granos partidos.
- El cacao beneficiado deberá estar libre de: olores a moho, ácido butírico (podrido), agroquímicos, o cualquier otro que pueda considerarse objetable.
- El cacao deberá estar libre de impurezas.

**Tabla 6**  
*Requisitos de las calidades del cacao beneficiado*

Requisitos	Unidad	CCN-51
<b>Cien granos pesan</b>	Gr	135-140
<b>Buena fermentación (mín.)</b>	%	65** *
<b>Ligera fermentación* (mín.)</b>	%	11
<b>Total fermentado (mín.)</b>	%	76
<b>Violeta (máx.)</b>	%	18
<b>Pizarroso/ pastoso (máx.)</b>	%	5
<b>Moho (máx.)</b>	%	1
<b>Totales (análisis en 100 granos)</b>	%	100
<b>Defectuoso (máx.) (análisis en 500 gr.)</b>	%	1

FUENTE:

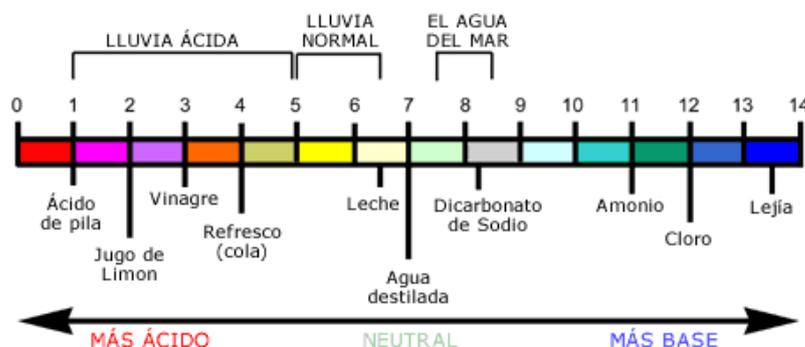
([http://www.flordebaba.com/NORMA\\_T%C3%89CNICA\\_ECUATORIANA\\_NTE\\_INEN\\_176\\_y\\_177.pdf](http://www.flordebaba.com/NORMA_T%C3%89CNICA_ECUATORIANA_NTE_INEN_176_y_177.pdf))

\*Coloración marrón violeta

\*\*\*Coloración varía de marrón a violeta

### 2.9.1 Evaluación de la calidad del cacao.

La calidad en el cacao se manifiesta a través de características físicas, químicas y sanitarias, en el caso de las propiedades físicas se valora: peso del grano, porcentaje de cascarilla, porcentaje de impurezas y rendimiento del grano, en relación a las propiedades químicas en cambio se valora: contenido de grasa, polifenoles, azúcares reductores y totales, pH, ceniza, acidez, etc., y las sanitarias hace relación a la presencia de mohos, hongos e insectos.



**Figura 32** Escala del pH

FUENTE: (<http://www.quimicayalgomas.com/wp-content/uploads/2011/05/acido-base.gif>)

Sin embargo, la evaluación de las propiedades sensoriales vinculadas con el sabor y el aroma son tan críticos como las anteriores en lo que respecta a la calidad del cacao. (Bravo & Mingo, 2011)

**Tabla 7**  
*Peso y número de almendras en 100 gr.*

Muestras Ecuador	Peso (g) promedio	Rango del peso		# de almendras /100 g	Muestras de otros países	Peso (g) promedio	Rango del peso		# de almendras /100 g
		Valor máximo	Valor mínimo	Promedio			Valor máximo	Valor mínimo	Promedio
N° 1	1.3	2.14	0.27	77	Trinidad & Tobago	1.12	1.81	0.64	89
N° 2	1.11	1.83	0.29	85	Venezuela	1.14	2.4	0.53	90
N° 3	1.34	2.13	0.64	80	Brasil N° 1	2.15	3.56	0.66	44
N° 4	1.26	2.03	0.59	76	Brasil N° 2	0.98	1.54	0.36	101
N° 5	1.28	1.95	0.68	81	Cote d'Ivoire	0.99	1.78	0.26	104
N° 6	1.29	1.96	0.63	80	Ghana N° 1	1.05	1.64	0.28	87
N° 7	1.15	1.49	0.3	92	Ghana N° 2	1.15	1.82	0.46	87
N° 8	1.25	2.18	0.33	87	Camerun	1.11	2.25	0.44	93
N° 9	1.27	2.3	0.43	80	Madagascar	1.08	1.88	0.44	93
N° 10	1.42	1.77	0.96	68	Nigeria	1.2	2.16	0.46	88
N° 11	1.34	1.99	0.46	77					

FUENTE: (Atlas de cacao, 2006)

El pH determina la acidez o basicidad de un producto, a partir de mediciones en soluciones acuosas, en este caso el pH demandado será de un rango, para garantizar que el cacao cumple con los contenidos de ácidos orgánicos pertinentes. Se considera que los granos de cacao seco con un pH mayor a 5.2 son de buena calidad.

**Tabla 8**  
*Ácidos orgánicos en muestras de cacao fermentado y seco*

País	Ácidos orgánicos, g/100g de muestras					
	Ácético	Oxálico	Cítrico	Málico	Succínico	Láctico
Brasil	0.81	0.06	0.37	0.19	0.19	0.27
Ecuador	0.51	0.08	0.43	0.28	0.16	0.29
Venezuela	0.62	0.09	0.76	0.33	0.37	0.21
Rep. Dominicana	0.55	0.17	0.86	0.28	0.23	0.30
Ghana	0.51	0.10	0.58	0.14	0.36	0.22
Malasia	0.76	0.08	0.52	0.2	0.26	0.5

FUENTE: (Bravo & Mingo, 2011)

## CAPITULO III

### ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

En esta etapa se presenta posibles soluciones al problema planteado, se hace uso de herramientas que permitan identificar de manera cuantitativas las características de diseño; la primera de las herramientas plantea un análisis de la Función de Calidad; las demás herramientas realizan el estudio comparativo de las posibles soluciones.

#### 3.1 Despliegue de la Función de Calidad (QFD)

Es un método de diseño de productos y servicios que recoge las demandas y expectativas de los clientes y las traduce a características técnicas y operativas satisfactorias. (Yacuzzi & Martin, 2009, pág. 9)

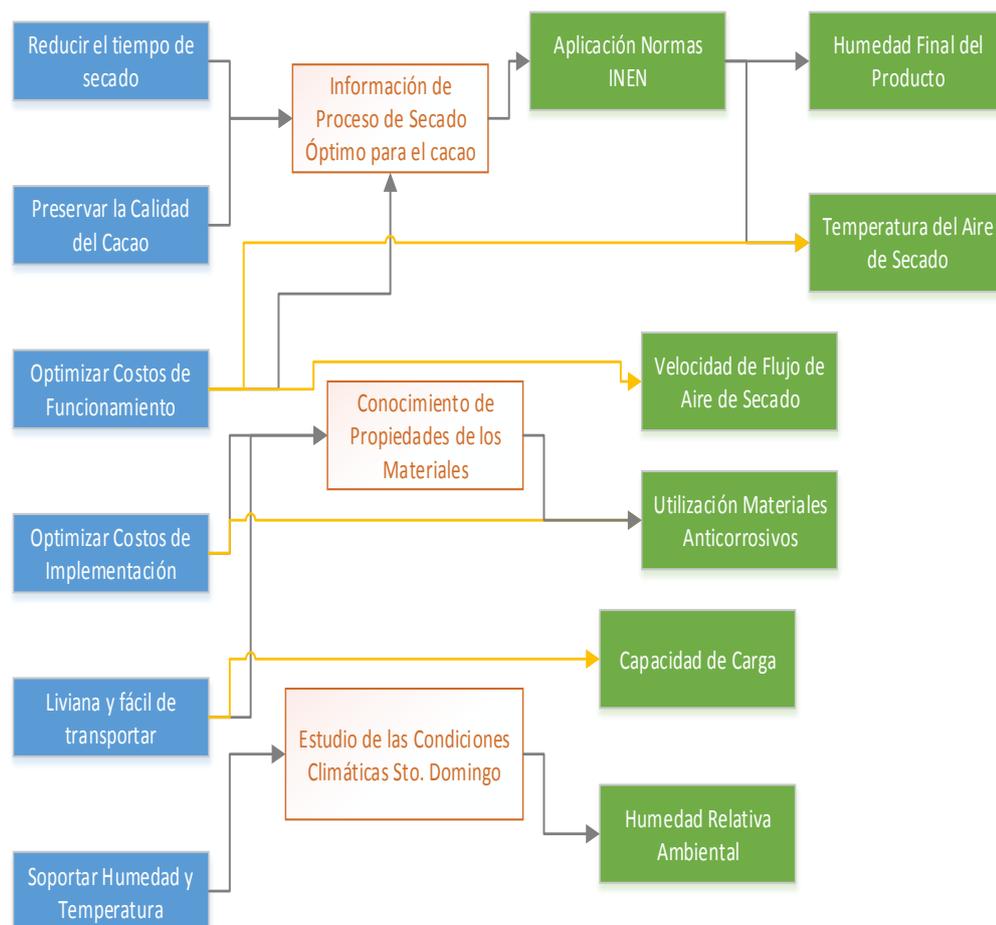
##### 3.1.1 Requisitos del Cliente.

El beneficiario del desarrollo del secador de cacao ha descrito como primordiales los siguientes requerimientos:

- Reducir el tiempo del secado del cacao, con respecto al secado natural que se realiza en la actualidad.
- No afectar la calidad del cacao y sus características organolépticas.
- Minimizar la inversión con la cual se pretende tecnificar el proceso de secado.
- La estructura debe soportar las condiciones climáticas que se tiene en el lugar de trabajo, es decir temperatura y humedad en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Las dimensiones totales del sistema de secado se deben ajustar al espacio físico disponible en el galpón de la finca “La Lolita” que es de 6m (ancho) x 9m (largo) x 3m (alto).

**Tabla 9**  
**Requerimientos del Cliente**

#	Tabulación de los Requisitos del Cliente	Prioridad (1: poco relevante; 5: muy relevante)
1	Reducir el tiempo de secado	3
2	Preservar la calidad del cacao	4
3	Soportar humedad y temperatura	4
4	Optimizar costos de implementación	5
5	Optimizar costos de funcionamiento	4
6	Liviana y fácil de transportar	3



**Figura 33 Diagrama causa efecto requerimientos cliente-especificaciones técnicas**

### 3.1.2 Especificaciones Técnicas.

Parámetros y descripción de los valores recomendados para el proceso de deshidratación de los granos de cacao según procesos experimentales de secado investigados.

- **Temperatura de aire de secado.** El rango de temperatura para la realización de un secado que asegura las cualidades óptimas del grano de cacao es de 30 a 60°C.

- **Humedad Final del Producto.** La humedad final con que se recupera el grano luego del proceso de secado es del 7% con  $\pm 2\%$  de tolerancia.

- **Humedad Relativa del Aire.** Según las condiciones ambientales de la locación donde va a funcionar el secador en el cantón de La Concordia su humedad relativa es del 80%.

- **Presión.** Por medio de una interpolación, al relacionar la altitud de 650 msnm, se obtiene una presión de 93.76 KPa como presión ambiental que es la que se desea alcanzar en el secador internamente.

- **Estructura.** Para realizar el dimensionamiento se debe tomar como punto de partida la capacidad de producto húmedo que ingresará a la cámara de secado, que son 100 Kg.

- **Ventilador.** Para su selección se toma en cuenta la presión de trabajo y el caudal. Para el presente diseño se parte de la velocidad del fluido que será acorde a las recomendaciones para granos que es de 0.3 a 4 m/s. (Corvalan, 8-5)

**Tabla 10**  
*Especificaciones Técnicas del Proceso de Secado*

#	CRITERIO	VALOR
1	Temperatura de aire de secado	30 a 60 °C
2	Humedad Final del Producto	7%
3*	Humedad relativa de aire	80%
4*	Presión	93.76 KPa
5	Capacidad Estructural	100 kg
6	Velocidad Ventilador	0.3 a 4 m/s
7	Utilización de materiales anticorrosivos	Mayor a 40 %
8	Conocimiento Norma INEN	100%

\*Condiciones Ambientales que dependerán de la ubicación final de la máquina de secado.

**Tabla 11**  
*Simbología Utilizada en la matriz QFD para relacionar el requerimiento del cliente y la característica técnica*

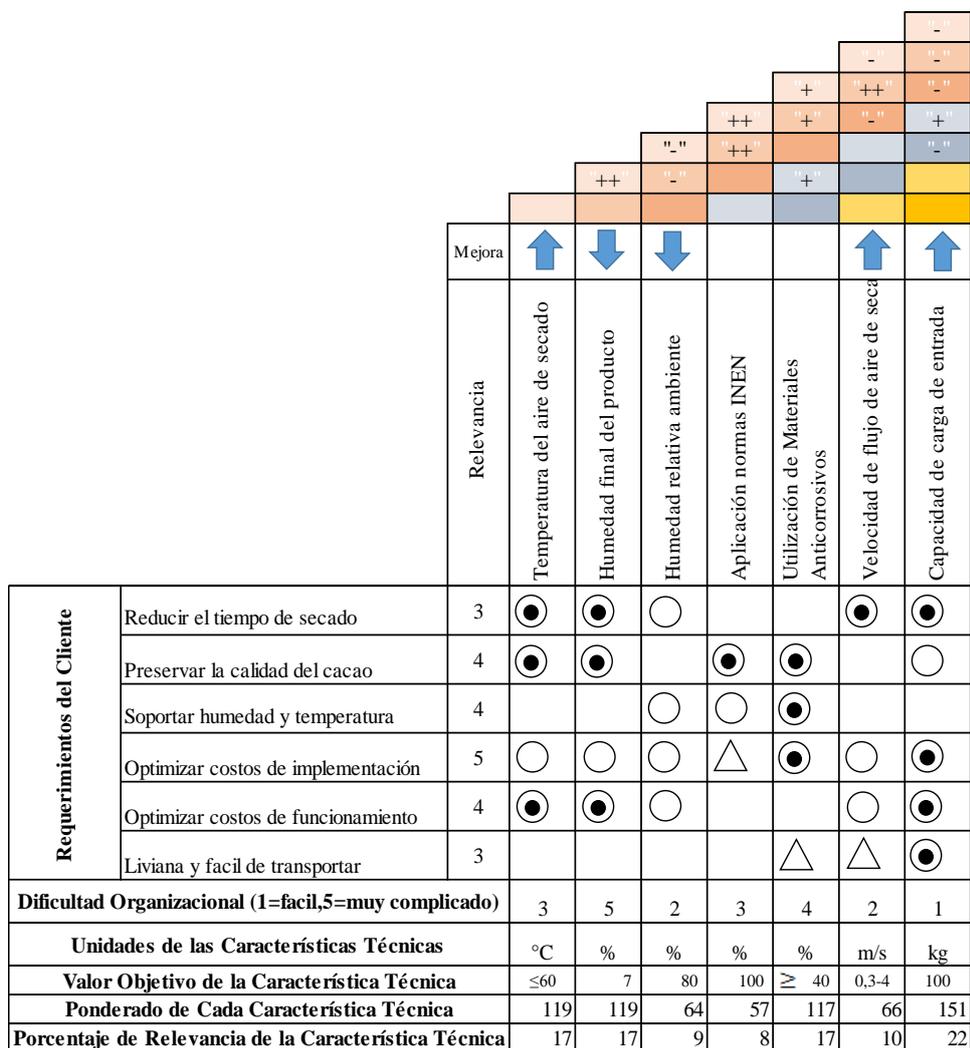
Grado de Relación	Símbolo	Valor Numérico
<b>Fuerte</b>		9
<b>Moderada</b>		4
<b>Débil</b>		1
<b>Nula</b>		0

FUENTE: (Creative Industries Research Institute, 2011)

**Tabla 12**  
*Simbología Utilizada en la matriz QFD para interrelacionar las características técnicas*

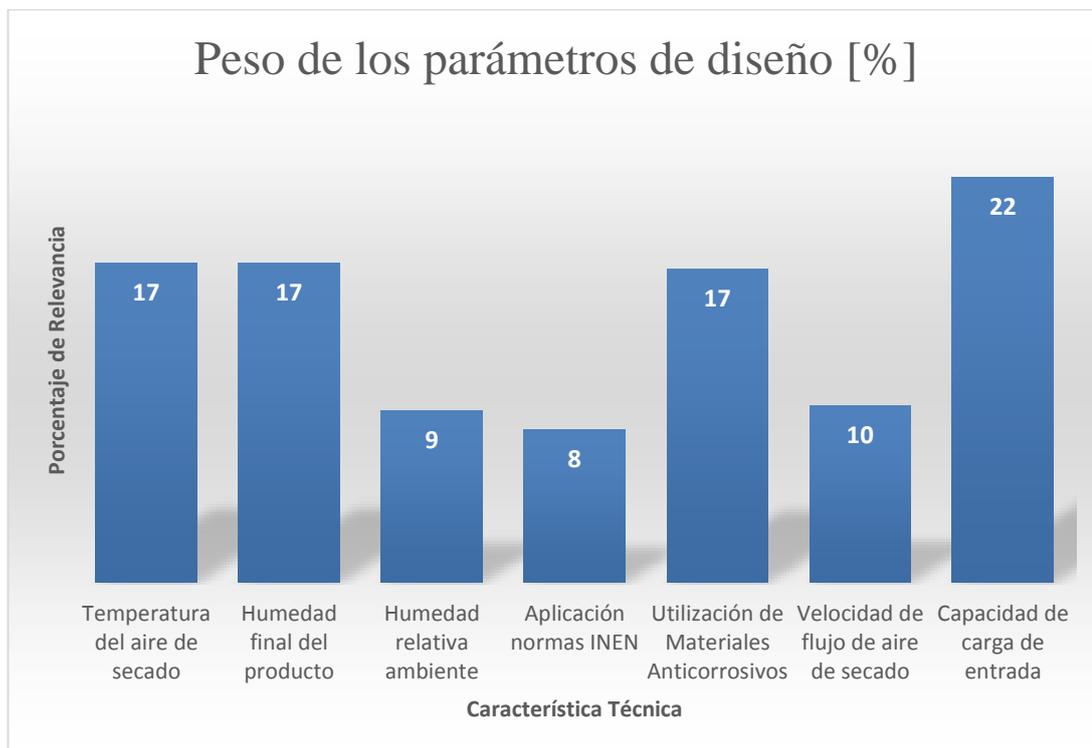
Grado de Relación	Símbolo
<b>Positiva Fuerte</b>	++
<b>Positiva Media</b>	+
<b>Negativa Media</b>	-
<b>Negativa Fuerte</b>	--

FUENTE: (Creative Industries Research Institute, 2011)



**Figura 34 Matriz de la Función de la Calidad**

A partir del desarrollo de esta herramienta se pueden distinguir cual es la representatividad de los valores de las especificaciones de diseño y el peso que cada una tiene en el diseño.



**Figura 35 Porcentaje de Relevancia de los parámetros de diseño**

Finalmente, ordenando de mayor a menor los parámetros de diseño que son primordiales en el desarrollo del proyecto se denominan a continuación.

**Tabla 13**  
*Conclusiones de la matriz QFD*

#	%	CRITERIO	VALOR
1	22	Capacidad Estructural	100 kg
2	17	Temperatura de aire de secado	30 a 60 °C
3	17	Humedad Final del Producto	7%
4	17	Utilización de materiales anticorrosivos	Mayor a 40 %
5	10	Velocidad Ventilador	0.3 a 4 m/s
6	9	Humedad relativa de aire	80%
7	8	Conocimiento Norma INEN	100%

### 3.2 Propuestas de Diseño

Se presentan a continuación opciones de diseño del secador que se han analizado, sin embargo el sistema de calefacción del aire será sujeto de análisis en posteriores estudios con respecto a fuentes de energía.

#### 3.2.1 Secador Rotatorio tipo Guardiola.

Secador de movimiento continuo de tipo giratorio con tambor de pared perforada que permite el ingreso del aire con el fin de que haya deshidratación uniforme. El aire aumenta de temperatura a través de la combustión de GLP, movimiento permite que el grano cambie de posición instantáneamente y se asegura un secado uniforme. La carga y descarga se realiza a través de compuertas localizadas en el tambor rotatorio.

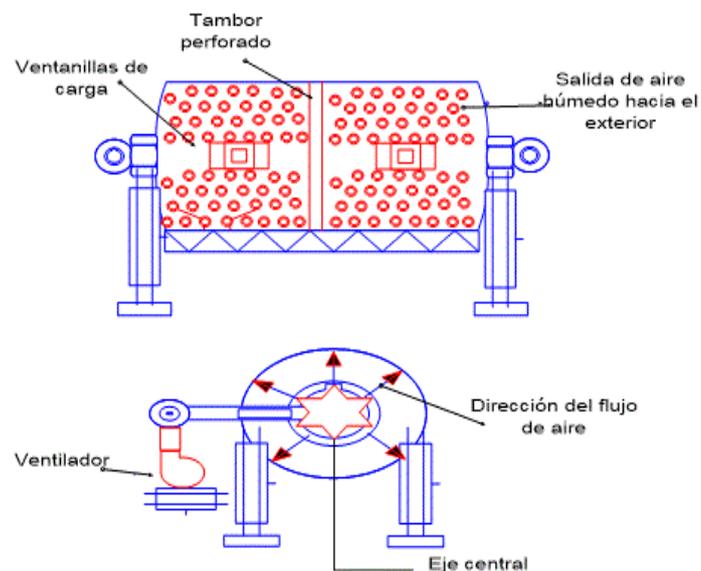


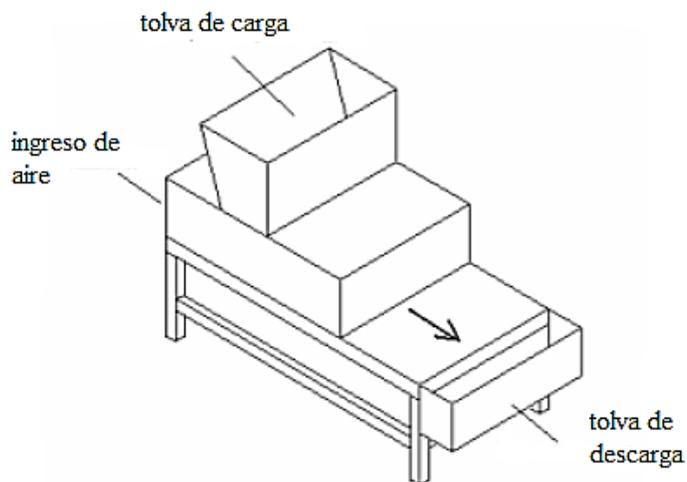
Figura 36 Secador Rotatorio Tipo Guardiola

FUENTE: ([http://tecnocienciaalimentaria.blogspot.com/2014\\_07\\_01\\_archive.html](http://tecnocienciaalimentaria.blogspot.com/2014_07_01_archive.html))

#### 3.2.2 Secador Continuo de Flujo Paralelo.

La circulación del aire de secado va en la misma dirección que el transporte del alimento. El incremento de la temperatura en el aire de secado se produce por medio de una resistencia eléctrica y el ventilador se encarga de la distribución de lo largo de la cámara de secado. Posee una tolva de alimentación para el ingreso del cacao

húmedo, posteriormente es se seca sobre una banda transportadora y se descarga por una tolva situada al final de la carrera la banda.

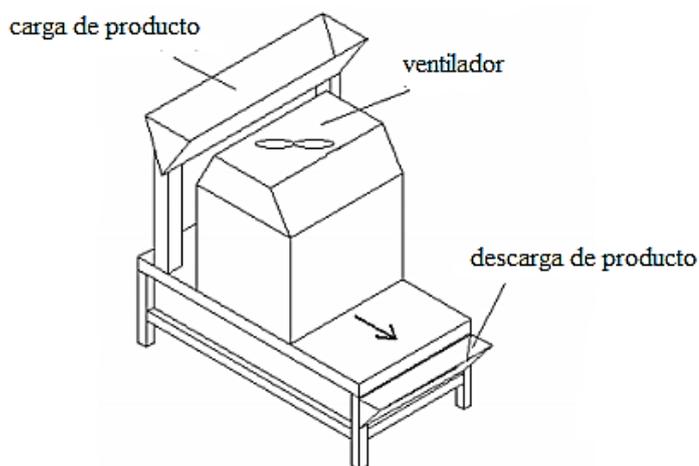


**Figura 37 Esquema secador Continuo de Flujo Paralelo**

**FUENTE: (ESPE, 2014)**

### 3.2.3 Secador Continuo de Flujo Cruzado.

Este sistema propone el funcionamiento semejante al anteriormente planteado, se diferencia la dirección del flujo de aire, ya que se lo inyecta de manera perpendicular a la dirección de movimiento del producto.



**Figura 38 Esquema secador Continuo de Flujo Cruzado**

**FUENTE: (ESPE, 2014)**

### 3.2.4 Secador Estático de Bandejas de Flujo Paralelo.

Este secador consta de dos secciones las cuales son el acondicionamiento de aire y la segunda es la cámara de secado, donde se deben disponer de manera favorable las bandejas que contienen el producto a secar, la dirección en la que ingresa el aire para deshidratar es normal a la que tienen las bandejas.



Figura 39 Secador Estático de Bandejas con Flujo Cruzado

*FUENTE:* (<http://spanish.drying-equipments.com/sale-2343315-ct-c-ib-thermal-stable-aluminium-alloy-hot-air-circulating-oven-with-high-heat-efficiency.html>)

### 3.3 Selección de la Propuesta de Diseño

Consiste en seleccionar los parámetros más importantes a ser considerados para la obtención de un sistema de secado óptimo, asignando un valor porcentual a cada factor según su importancia, para lo cual se utilizará la herramienta de la matriz morfológica, analizando los siguientes ítems:

- **Costo de Implementación.** Engloba todo el costo que requiere la inversión inicial para la adquisición de materiales y equipos, su construcción, montaje y puesta a punto de los sistemas que tiene la máquina.

- **Costo de Mantenimiento.** Costos que incluyen la mano de obra y recursos materiales necesarios para que el sistema cuente con las condiciones óptimas de

sanidad por su trabajo con alimentos, y demás tareas que le permitan operar dentro de los parámetros de diseño acorde a su vida útil.

- **Rendimiento.** Mide la cantidad de cacao que es capaz de secarse en un tiempo determinado. El alimento debe estar distribuido acorde con los parámetros de funcionamiento del equipo, es decir si es en un tambor rotatorio, bandejas o banda transportadora.

- **Espacio Ocupado (Volumen).** Se refiere al espacio físico que se requiere en el lugar donde se va a ubicar el secador, dentro de las dimensiones provistas por el comprador.

- **Adaptabilidad.** Es la capacidad del equipo de soportar las condiciones climáticas y atmosféricas realizando la menor cantidad de cambios posibles.

- **Seguridad.** Se enfoca en un sistema que tenga un alto nivel de control de fallas durante su funcionamiento; abarca todo lo referente al sistema mecánico, eléctrico, de control y el factor humano presente el proceso. Evitar accidentes o equipos fuera de su funcionalidad significa una reducción de costos correctivos.

- **Grado de Automatización.** Es la capacidad de un equipo de ser autónomo y procurar la menor intervención posible de mano de obra o requerimientos de supervisión.

- **Versatilidad.** Incluye todas las alternativas y la flexibilidad del sistema en general; darle un propósito diferente, cambiar de producto, locación, cantidad de carga y demás características que necesiten estar cubiertas sin cambios representativos en la estructura o control.

- **Durabilidad.** Se refiere al tiempo de vida útil que tiene el equipo que se va a diseñar.

- **Ergonomía.** Concepto que denota una interacción favorable entre el hombre y la máquina, tomando en cuenta criterios como una buena postura, seguridad, evitar manejo de cargas excesivas y posibles fallos por repetitividad de procesos para los operarios encargados del proceso de secado, evitando de esta manera posibles problemas de salud.

Finalmente la matriz morfológica nos permite dar una calificación, según la propuesta de diseño, para lo que se tiene la escala siguiente:

**Tabla 14**  
*Significado de Calificación de la Matriz Morfológica*

Significado	Calificación
<b>Deficiente</b>	1
<b>Aceptable</b>	2
<b>Bueno</b>	3
<b>Muy Bueno</b>	4
<b>Excelente</b>	5

Para obtener una puntuación final se multiplica la calificación de cada factor por el porcentaje de relevancia y se obtiene la puntuación final de cada una de las propuestas de manera cuantitativa.

**Tabla 15**  
*Matriz Morfológica*

Propuesta Secador	%	Tipo	Continuo	Continuo	
Factor Análisis	Relevancia	Guardiola	Flujo Cruzado	Flujo Paralelo	Bandejas
Costo de Implementación	18	3	1	1	4
Costo de Mantenimiento	4	4	3	3	5
Rendimiento	12	5	4	4	4
Espacio Ocupado	15	5	1	1	4
Adaptabilidad	16	5	5	5	5
Seguridad	9	2	4	5	5
Grado de Automatización	10	5	5	5	3
Versatilidad	5	3	5	5	4
Durabilidad	6	3	3	4	4
Ergonomía	5	4	5	5	3
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>81,2</b>	<b>65,4</b>	<b>68,4</b>	<b>82,8</b>

Se concluye entonces, que la mejor alternativa de diseño bajo los parámetros que se han evaluado es el secador de **bandejas con flujo paralelo**; a continuación se desarrolla una explicación de las características de diseño de cada una de las propuestas de manera ordenada; acorde a lo cual han sido calificadas.

#### 1) Propuesta 4: Secador Estático de Bandejas de Flujo Paralelo

Se realiza un manejo donde el producto no tiene gran variación dinámica, preservando su integridad y evitando abolladuras resultado del movimiento, asegura la calidad física del grano, lo cual es uno de los objetivos primordiales del presente proyecto, el costo de los materiales se reduce por la ausencia de actuadores giratorios, alta disponibilidad de los materiales en el mercado nacional y permite la exposición del cacao por un tiempo prolongado a las temperaturas que requiere el proceso. Requiere intervención manual de un operario para carga y descarga de las bandejas del producto.

### **2) Propuesta 1: Secador Rotatorio tipo Guardiola**

El continuo movimiento asegura un secado uniforme de los granos, pero el golpeteo constante entre las almendras degrada la calidad que se evalúa por el comprador de cacao. Permite el filtrado de impurezas, facilita la carga y descarga del producto por una misma cavidad. El requerimiento calórico es mucho mayor ya que las paredes perforadas del cilindro rotatorio permiten que se libere a la temperatura ambiente el calor suministrado en el aire caliente.

### **3) Propuesta 2: Secador Continuo de Flujo Paralelo**

El tramo instantáneo en el que el producto está expuesto a los efectos del aire caliente es relativamente corto y no permite que se elimine el porcentaje de agua necesario en una pasada, alargar el tiempo representaría necesariamente que el rendimiento sea mucho menor al requerido. O en su defecto una máquina secadora de grandes dimensiones comparada con las dos opciones anteriores. Respondiendo buenas prácticas de manufactura se usarían bandas transportadoras plásticas adecuadas para trabajar en contacto con alimentos y que sean resistentes al calor requerido, las mismas requieren mantenimientos frecuentes y por ende un costo representativo.

### **4) Propuesta 3: Secador Continuo de Flujo Cruzado**

De manera semejante que en el caso anterior el tiempo necesario para secar cada pequeño lote de producto es excesivamente largo, si se opta por ampliar las dimensiones del secador el sistema se torna menos adaptable al medio de trabajo. Los actuadores de giro para el movimiento de las bandas transportadoras contenedoras del producto encarecen su implementación y mantenimiento.

## **3.4 Decisión Energética**

En el presente apartado se requiere realizar la selección del mecanismo de generación de calor; a continuación se desplegarán dos opciones estudiadas y sus

características, para luego efectuar un cuadro comparativo que correlacione sus características.

### 3.4.1 Resistencias Eléctricas.

Este mecanismo de generación de calor se basa en el contacto directo del aire que circula por la cámara que contiene el arreglo de las conocidas resistencias eléctricas, que son generalmente espirales o cables metálicos de diferentes diámetros que precisan tener diferente temperatura a la del fluido circundante para viabilizar la transferencia de calor. Se debe notar que al disminuir el flujo de aire la temperatura de las resistencias se incrementará.

Los metales son materiales conductores por excelencia pero poseen resistencia al paso de la corriente a través de ellos, cuyo efecto resultante es la generación del calor proveniente de la disipación de la energía.

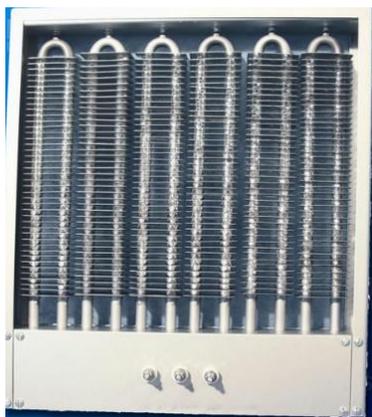


**Figura 40 Juego de Resistencias Eléctricas en arreglo redondo**

**FUENTE:** ([www.hotfrog.com.mx/Companies/Thermosuministros-Industriales-de-Mexico&h](http://www.hotfrog.com.mx/Companies/Thermosuministros-Industriales-de-Mexico&h))

La Ley de Joule explica que los calefactores resistivos producen calor proporcionalmente al cuadrado de la corriente eléctrica que fluye a través de ellos.

La resistividad como propiedad intensiva es la capacidad de los materiales de oponerse al paso del calor; por lo tanto esta cualidad está ligada al tipo de metal, a sus enlaces, tipo de impurezas y demás defectos en su estructura debido a los procesos de fabricación.



**Figura 41** Juego de resistencias en U provistas de aletas

FUENTE: ([www.reymann.com.br/resistencias-eletricas/wp-content/uploads/2013/02](http://www.reymann.com.br/resistencias-eletricas/wp-content/uploads/2013/02))

#### ***3.4.1.1 Equipos Accesorios para la instalación de Resistencias Eléctricas.***

- Cámara de aislamiento.
- Ventilador de distribución

#### **3.4.2 Gas Licuado de Petróleo.**

Para la utilización de GLP o gas licuado de petróleo se requiere de un subsistema en conjunto que permita la alimentación de gas, la generación del arco (chispa) para el encendido de un quemador, además de un intercambiador de calor impida que el aire que entra a la cámara de secado tenga contacto directo con el aire producto de la combustión.



**Figura 42** Diferentes tamaños de cilindros de GLP

FUENTE: (<http://www.mx.all.biz/cilindros-para-gas-lp-g15078>)

Con fines domésticos se utiliza la mezcla entre el gas propano y butano; éste es el sistema que más se utiliza domésticamente en la actualidad debido a su bajo costo (un tanque de 15 kg cuesta cerca de \$2).

Factores de análisis en este mecanismo de generación de calor son los que influyen en que no exista combustión incompleta requiriendo un analizador de la atmósfera que brinda una alternativa de seguridad ante la generación de monóxido de carbono (CO).



**Figura 43 Quemador Industrial de GLP**

**FUENTE:** (<http://www.directindustry.es/prod/wayne-combustion-systems/quemador-gas-21961-50001.html>)

#### ***3.4.2.1 Equipos Accesorios para instalación de GLP.***

- Generador arco eléctrico.
- Control de ausencia de llama.
- Quemador.
- Sistema de distribución del GLP.

### 3.4.3 Análisis Comparativo.

**Tabla 16**  
*Precios de combustibles y poder calorífico*

Combustible	Precio	Valor Calorífico	Rendimiento Calorífico
Electricidad	0.6812 \$/KWh	860 kcal/ KWh	98%
GLP	0.20 \$/kg	28000 kcal/m3 (12.7 KWh/kg)	85%

FUENTE: (EEQ)

**Tabla 17**  
*Características de Métodos de Generación de Calor*

Método de Calefacción	Ventajas	Desventajas
<b>Resistencias Eléctricas</b>	Poco mantenimiento.	Alto costo de funcionamiento.
	Bajo costo de implementación.	Bajo poder calorífico.
	Energía limpia y segura	
	Vida útil prolongada	
	Tendencia al bajo costo por cambio en matriz energética	
<b>GLP</b>	Alto poder calorífico.	Requiere mantenimiento constante.
	Bajo costo de funcionamiento.	Tendencia de baja disponibilidad.
		Alto costo de implementación.
		Requiere conocimiento químico para combustión óptima.

Cabe recalcar que en la actualidad, el Ecuador está viviendo una transformación en la matriz energética para pasar de una energía cara y contaminante, basada en hidrocarburos (centrales térmicas), a una más barata y limpia como la generada por las ocho hidroeléctricas que están en construcción y que empezarán a operar en 2016. (<http://www.andes.info.ec/es/noticias/consiste-cambio-matriz-productiva-ecuador.html-0>)

Razón por la cual el gobierno de turno ha manifestado su deseo de retirar el subsidio al gas doméstico además de haber reforzado los controles de las seguridades que deben contener los sistemas que generan calor con el GLP, las normas son más rigurosas que en años anteriores.

Se concluye que la manera más óptima por costos de implementación y el bajo requerimiento de temperatura (máximo 60 °C) es la energía limpia que se obtiene por las **resistencias eléctricas**, comprobándose en esta mayores ventajas que desventajas, junto con un análisis de la realidad energética nacional y una proyección a alzas futuras en el gas licuado de petróleo.

## CAPITULO IV

### DISEÑO

#### 4.1 Consideraciones de Diseño

Para el diseño del secador se hicieron ciertas teorías para facilitar el cálculo del diseño.

- Puesto que para procesos de acondicionamiento de aire se considera un flujo permanente y por ende se analiza con los principios de conservación de masa de flujo permanente de la conservación de la energía.
- La velocidad del aire dentro de la cámara de secado se considera constante durante todo el proceso.
- Las condiciones climatológicas no varían durante el proceso.
- La generación de calor y el flujo de aire para efectos de cálculo son constantes.
- Se trabajara con el aire seco y el vapor de agua como gases ideales.

Cabe mencionar que la metodología de diseño a emplear es la del diseño concurrente, que se basa en herramientas que permiten facilitar la manufactura, montaje, asegurar la calidad y confortabilidad del producto mecatrónico.

#### 4.2 Parámetros del cacao para el diseño

##### 4.2.1 Granulometría.

Con la granulometría se tiene como objetivo clasificar los frutos y los granos de cacao que se va a secar, para esto se toma una muestra y se realiza las medidas pertinentes.

Se tomó como muestra 12 frutas de la cosecha y de cada fruta se tomó 10 granos de cacao de forma aleatoria, según Noma INEN 177.

**Tabla 18**  
*Medidas de la Fruta de Cacao*

<b>MUESTRA DE FRUTA CON CÁSCARA</b>								
#	Tam	Peso			Dimensiones		Semillas por fruta	Temp
		Total	Semillas	Cáscara	Largo	Ancho		
		[gr]	[gr]	[gr]	[cm]	[cm]	[grano]	[°C]
1	Gr	1400	340	1060	28,32	11,47	57	21
2		1330	330	1000	27,14	10,96	56	22
3		1690	400	1290	27,46	12,43	57	23
4		1450	330	1120	28,29	12,38	54	23
5	Med	1300	440	860	25,34	10,41	58	23
6		990	180	810	23,46	10,54	29	24
7		890	250	640	23,96	9,67	52	24
8		1370	340	1030	24,06	12,13	53	24
9	Peq	760	230	530	25,13	9,39	38	24
10		640	210	430	22,16	8,63	58	24
11		660	130	530	19,72	9,71	21	24
12		750	230	520	19,87	9,05	49	25
<b>Prom</b>		<b>1102,50</b>	<b>284,17</b>	<b>818,33</b>	<b>24,58</b>	<b>10,56</b>	<b>48,50</b>	<b>23,42</b>

Con estas medidas tomadas de la muestra se observa que la fruta de cacao tiene como longitud máxima 28.32 cm, longitud mínima 19.72 cm y ancho máximo 12.43 cm, ancho mínimo 8.63 cm.

**Tabla 19**  
*Dimensiones promedio del grano de cacao*

Dimensión	Unidad	Grande	Mediano	Pequeño	Promedio
Peso	[gr]	5,65	5,20	5,05	5,30
Largo	[mm]	29,85	29,35	29,45	29,55
Ancho	[mm]	19,77	19,40	19,04	19,40

#### 4.2.2 Propiedades del grano de cacao.

Para el cálculo de balance térmico y pérdidas de calor en el secador de cacao se necesita algunas propiedades físicas y térmicas del grano.

**Tabla 20**  
*Propiedades del cacao*

	Porosidad	Densidad aparente [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [J/kg °K]	Conductividad térmica W/m °K	Difusividad térmica m <sup>2</sup> /h
<b>Cacao</b>	0.56	520	1728	0.18	0.000721

FUENTE: (<http://www.cocoafederation.com/issues/fumigation/LINKkrepfor10cd.pdf>)

##### 4.2.2.1 Contenido de producto por bandeja.

Con una carga de 100 kg de cacao húmedo como producto de entrada y bajo la condición favorable de un espesor máximo de 5 cm por bandeja se realizan iteraciones con el fin de aprovechar las dimensiones comerciales de las planchas y la malla de acero inoxidable 304, que son 1.2 x 2.44 m y 1 x 1 m, respectivamente

Se impone por diseño una distribución uniforme de 10 bandejas y se obtiene el espesor de cacao por medio del cálculo del volumen de producto necesario por bandeja.

$$m_{cb} = \frac{M_p}{10}$$

$$m_{cb} = 10 \text{ kg}$$

$$V_b = \frac{m_{cb}}{\rho_{cacao}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$V_b = 0.019 \text{ m}^3$$

Donde:

$m_{cb}$ : Masa de cacao por bandeja [kg]

$M_p$ : Masa total de cacao a ser secada, 100 [kg]

$V_b$ : Volumen de cacao por bandeja [m<sup>3</sup>]

$\rho_{cacao}$ : Densidad del cacao, 520 [kg/m<sup>3</sup>]

Altura del producto por bandeja:

$$h_b = \frac{V_b}{l_b \cdot a_b} \quad \text{Ec. 2}$$

$$h_b = 0.036 \text{ m}$$

Donde:

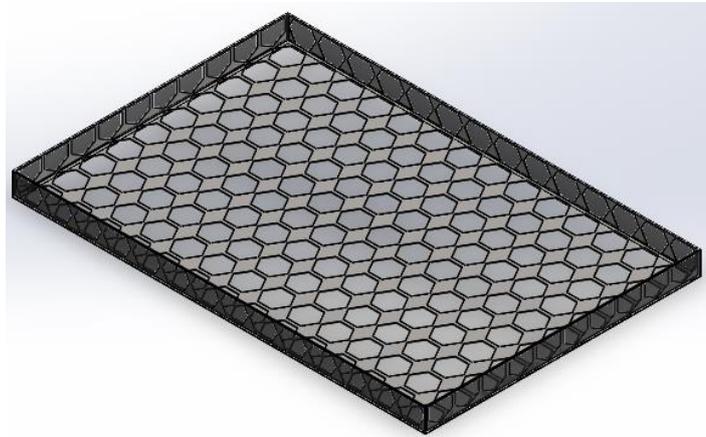
$l_b$ : Largo de la bandeja, 0.9 [m]

$a_b$ : Ancho de la bandeja, 0.6 [m]

$h_b$ : Altura del producto en la bandeja [m]

La altura de 3.6 cm de la capa del producto será contenida en una profundidad de 5 cm de alto de la bandeja que le permite una mayor holgura a razón del espacio entre almendras.

Para fines de modelado se ha realizado la virtualización del diseño mediante el software SolidWorks.



**Figura 44 Modelo CAD de la bandeja de acero inoxidable**

#### ***4.2.2.2 Contenido de Humedad en base húmeda.***

Contenido de humedad del producto se define como la pérdida de masa expresada en porcentaje, que se produce al calentar una porción molida de caca bajo condiciones preestablecidas. (INEN, 1986)

### Características del Procedimiento según la norma INEN 173

#### Instrumental necesario:

- Mortero. Para triturar el grano sin elevar la temperatura.
- Estufa. Ajustada a  $103^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$ .
- Cápsula con tapa, de metal inoxidable o de vidrio.
- Desecador, provisto por el material deshidratante adecuado
- Balanza analítica, sensible a 0.1mg

#### Preparación de la muestra:

Se mezcla cuidadosamente la muestra para el ensayo obtenida según la Norma 177, y mediante reducciones sucesivas, se separa 15 granos de cacao, exponiéndolos durante el menor tiempo posible a la atmósfera, se los tritura uno a uno, hasta que las partículas más grandes no superen los 5mm evitando además, que se forme una pasta. (INEN, 1986)



**Figura 45 Muestra tomada según Norma 177**



**Figura 46 Muestra de 15 granos para determinación de humedad**

### Procedimiento

- Se coloca un poco de la muestra previamente triturada en la cápsula vacía y se tapa.



**Figura 47 Colocación de la muestra en la cápsula**



**Figura 48 Se tapa la muestra**

- Se pesa 5g de muestra con aproximación a 0.2 mg y se lo introduce en la estufa a  $103^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$ , colocando la cápsula sin tapa.



**Figura 49 Pesar 5g de muestra**



**Figura 50 Muestra en la estufa a 103oC**

- Se mantiene el conjunto dentro de la estufa, durante 5 a 6 horas, evitando abrir la estufa. Al cabo de ese tiempo, se saca la cápsula, y se deja enfriar a temperatura ambiente (esto sucede al cabo de 30 a 40 minutos).
- Se vuelve a pesar la muestra.

El contenido humedad o agua evaporable en un producto se expresa en relación a la masa seca y la masa húmeda A menos que se indique otra cosa, se sobreentiende que es en base húmeda (bh).

Como resultado del ensayo experimental de medición se obtuvo una masa de producto seco promedio de 2.66 g frente a la masa inicial húmeda de 5 g.

$$m_h = 5 \text{ g}$$

$$m_s = 2.66 \text{ g}$$

$$Xh_{inicial} = \frac{(m_h - m_s)}{m_h} \quad \text{Ec. 3}$$

$$Xh_{inicial} = 0.468$$

$$X_{\omega i} = Xh_{inicial} \times 100$$

$$X_{\omega i} = 46.8 \%$$

Donde:

$m_h$ : Masa húmeda [g]

$m_s$ : Masa seca [g]

$Xh_{inicial}$ : Contenido de humedad en base húmeda (Corvalan, pag 5-1.)

$X_{\omega i}$ : Porcentaje de contenido humedad en base húmeda [%]

#### 4.2.2.3 *Contenido de Humedad en base seca.*

Indicador que expresa de manera proporcional al contenido de agua en el producto, se utiliza la nomenclatura del apartado 4.2.4.

$$Xs_{inicial} = \frac{(m_h - m_s)}{m_s} \quad \text{Ec. 4}$$

$$Xs_{inicial} = 0.88$$

Donde:

$Xs_{inicial}$ : Contenido de humedad en base seca (Corvalan, pag 5-1.)

#### 4.2.2.4 Masa Seca del Producto.

A partir de la masa total del producto y su contenido de humedad calculado a partir de la ecuación 3, se determina la masa seca que resultará del proceso de secado por carga.

$$M_{seca} = M_p \cdot \frac{(100 - X_{\omega i})}{100} \quad \text{Ec. 5}$$

$$M_{seca} = 53.2 \text{ kg}$$

Donde:

$M_p$ : Masa total de cacao a ser secada, 100 [kg]

$X_{\omega i}$ : Porcentaje de contenido humedad en base húmeda [%]

$M_{seca}$ : Masa seca de cacao [kg] (Corvalan, pag 5-3.)

#### 4.2.2.5 Cantidad de Agua a Remover.

La cantidad de agua a evaporar durante el proceso de secado con el fin de llegar al porcentaje ideal del 7% de humedad final se calcula a partir de:

$$\Delta\omega = M_{seca} \cdot \left( \frac{X_{\omega i}}{100 - X_{\omega i}} - \frac{X_{\omega f}}{100 - X_{\omega f}} \right) \quad \text{Ec. 6}$$

$$\Delta\omega = 42.796 \text{ kg}$$

Donde:

$\Delta\omega$ : Masa de agua [kg] (Corvalan, pag 5-4.)

$X_{\omega i}$ : Porcentaje de humedad inicial del cacao, 46.8 [%]

$X_{\omega f}$ : Porcentaje de humedad final del cacao, 7 [%]

### 4.3 Propiedades del Aire Atmosférico

El acondicionamiento de aire ambiente se realiza a través del proceso de secado para lo cual se requiere realizar una descripción de las condiciones iniciales y finales del mismo.

Las propiedades del aire atmosférico son:

- **Temperatura bulbo seco:** Temperatura tal como la muestra el termómetro.
- **Temperatura bulbo húmedo:** Temperatura del termómetro envuelto en una mecha empapada de agua.
- **Temperatura de punto de rocío:** Temperatura a la cual el vapor de agua se empieza a condensar si se enfría el aire a presión constante.
- **Relación de humedad (humedad específica o absoluta):** Es el peso de vapor de agua por kg de aire seco, expresado en kg/kg de aire seco.
- **Humedad Relativa:** Relación de la presión real de vapor de agua en el aire con la presión del vapor de agua si el aire estuviera saturado a la misma temperatura de bulbo seco, se expresa en %.
- **Volumen específico:** Volumen del aire por unidad de peso de aire seco. Expresado en  $\text{m}^3/\text{kg}$  de aire seco.
- **Entalpia del aire:** Es la energía que varía en los procesos del aire.

En el cálculo de las propiedades psicométricas del aire se requieren dos parámetros de temperatura y la altitud a la cual se pondrá a funcionar el equipo.

Santo Domingo de los Tsáchilas se encuentra situado a 650 msnm, dato con el cual se ingresa a las tablas de presión acorde a las condiciones geográficas y por medio de interpolación se obtiene el dato de 93.76 KPa de presión.

TABLA A-17

Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Altitud, z, m	Temperatura, T, °C	Presión, P, kPa	Gravedad, g, m/s <sup>2</sup>	Velocidad del sonido, c, m/s	Densidad, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Viscosidad, $\mu$ , kg/m · s	Conductividad térmica, k, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	$1.789 \times 10^{-5}$	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	$1.783 \times 10^{-5}$	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	$1.777 \times 10^{-5}$	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	$1.771 \times 10^{-5}$	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	$1.764 \times 10^{-5}$	0.0250
1 000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	$1.758 \times 10^{-5}$	0.0249
1 200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	$1.752 \times 10^{-5}$	0.0248

Figura 51 Tablas de Condiciones Atmosféricas acorde a la Altitud

FUENTE: (Cengel, 2011)

### 4.3.1 Carta Psicrométrica.

Con el fin de hacer más comprensibles los procesos termodinámicos para el aire atmosférico se tiene varios diagramas que a una presión específica nos permiten establecerlo por completo por medio de dos características intensivas independientes. Hallar el punto de encuentro de las mismas y siguiendo la dirección del resto de características de la carta se puede hallar valores muy aproximados o mediante interpolación de los factores desconocidos.

En la actualidad se posee software que permite hallar estos mismos valores, con un rango de error no significativo, sin embargo sobre una carta psicrométrica se clarifica cual es la línea que cumple un proceso y la dirección que debe tomar, de esta manera se tiene:

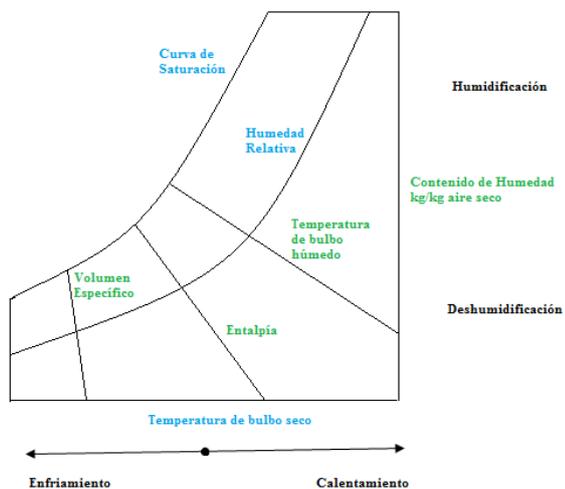


Figura 52 Descripción de una Carta Psicrométrica y dirección de procesos

En la horizontal se puede visualizar la temperatura en bulbo seco, que es la que generalmente se tiene como dato, en la vertical derecha se mide el contenido de humedad (kg/kg de aire seco). En el extremo izquierdo se observa la curva de saturación o curva del 100% de humedad relativa, sobre la cual se halla el aire saturado en todos los estados. De manera semejante cruzan el diagrama las medidas de la humedad relativa.

La medida de bulbo húmedo tiene una apariencia descendente hacia la derecha. El volumen específico (m<sup>3</sup>/kg de aire seco) tiene una mayor inclinación y finalmente las líneas de entalpía (KJ/kg de aire seco) que en dirección son muy similares a las de bulbo húmedo.

Se pueden observar la trayectoria que tiene cada proceso en la tabla, por lo tanto al añadir agua al aire se tiene un proceso de humidificación dirigido de un punto inicial más bajo a uno más alto; de manera análoga en la horizontal si se bosqueja un proceso de enfriamiento el primer punto estará ubicado a la derecha del segundo punto y tiene orientación derecha a izquierda.

La temperatura ambiente para la finca “La Lolita” es en promedio de 25 °C y la humedad relativa de la provincia es de 80 %, condiciones que nos sirven de entrada para obtener parámetros del proceso, mediante el software de evaluación Engineering Equation Solver (EES).

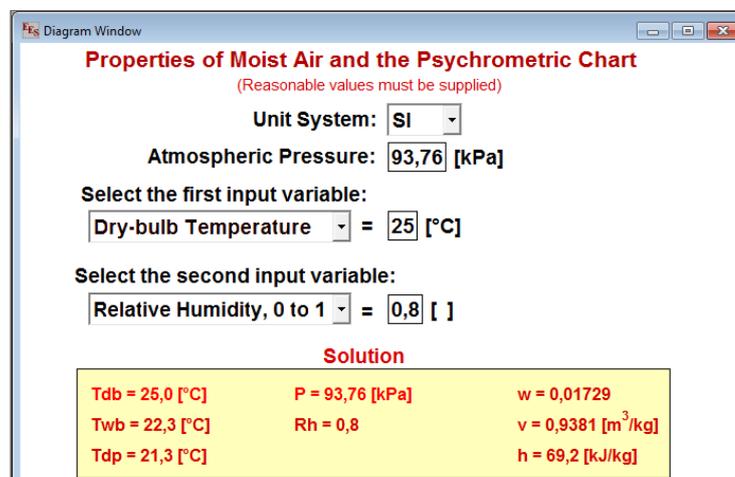


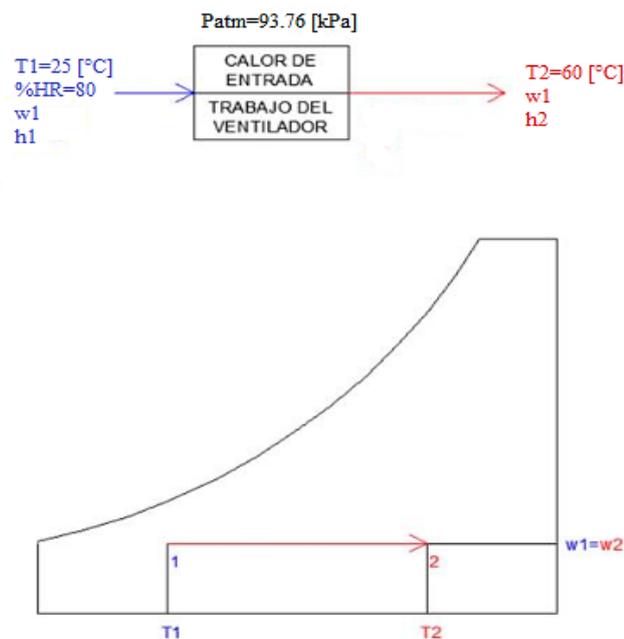
Figura 53 Propiedades Psicrométricas del aire a Tamb, Patm y HRatm en EES

**Tabla 21**  
**Propiedades Psicométricas del Aire Ambiente**

Propiedad	Valor	Unidad
Presión atmosférica ( $P_{ATM}$ )	93.76	[KPa]
Temperatura en bulbo seco ( $T_{BS}$ )	25	[°C]
Humedad Relativa (HR)	80	%
Humedad Específica ( $w$ )	0.01729	
Volumen específico ( $v$ )	0.9381	[m <sup>3</sup> /kg]
Entalpía ( $h$ )	69.2	[kJ/kg]

#### 4.3.2 Humedad Absoluta del aire de Secado.

Si el mecanismo de incremento de temperatura en el aire de secado responde a un calentamiento simple, ya que no se humidifica o deshumidifica como parte del proceso; se concluye que la humedad absoluta ( $w$  en la Figura 54) permanece constante, en el siguiente diagrama se toma en cuenta la temperatura ambiente y la temperatura de secado de 60 °C.



**Figura 54 Diagrama del proceso de acondicionamiento del aire sobre la carta psicométrica**

Se concluye entonces que la humedad absoluta del aire de secado es igual al valor de la humedad absoluta del aire ambiente de la Tabla 21, además de que la cámara de secado mantiene la presión ambiente; entonces, se tiene:

$$w_{sec} = w_{amb} = 0.01729 \left[ \frac{kg}{kg} \right]$$

$$P_{sec} = P_{atm} = 93.76 \text{ [kPa]}$$

Donde:

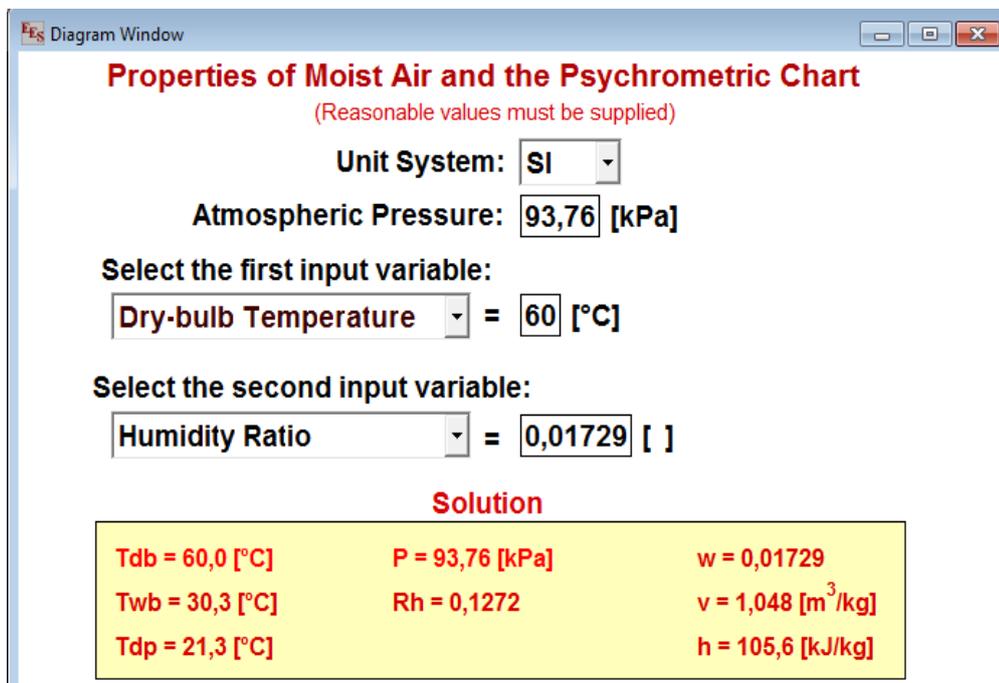
$w_{sec}$ : Humedad absoluta del aire de secado [kg/kg]

$w_{amb}$ : Humedad ambiental absoluta [kg/kg]

$P_{sec}$ : Presión del aire de secado [KPa]

$P_{atm}$ : Presión atmosférica [KPa]

Mediante el software Engineering Equation Solver (EES), al ingresar con la temperatura de secado de 60 °C, presión atmosférica, humedad absoluta.



**Properties of Moist Air and the Psychrometric Chart**  
(Reasonable values must be supplied)

Unit System: **SI**

Atmospheric Pressure: **93,76 [kPa]**

Select the first input variable:  
**Dry-bulb Temperature** = **60 [°C]**

Select the second input variable:  
**Humidity Ratio** = **0,01729 [ ]**

**Solution**

<b>Tdb = 60,0 [°C]</b>	<b>P = 93,76 [kPa]</b>	<b>w = 0,01729</b>
<b>Twb = 30,3 [°C]</b>	<b>Rh = 0,1272</b>	<b>v = 1,048 [m<sup>3</sup>/kg]</b>
<b>Tdp = 21,3 [°C]</b>		<b>h = 105,6 [kJ/kg]</b>

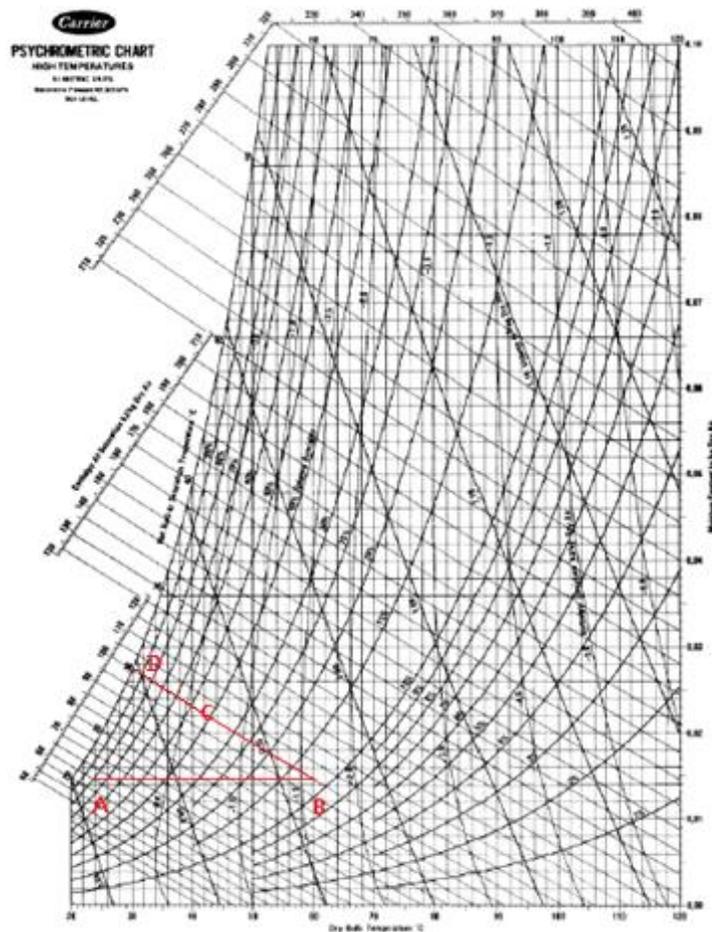
Figura 55 Propiedades Psicrométricas del aire de secado

**Tabla 22**  
**Propiedades Psicométricas del Aire de Secado**

Propiedad	Valor	Unidad
Presión de secado ( $P_{SEC}$ )	93.76	[KPa]
Temperatura de secado ( $T_{SEC}$ )	60	[°C]
Humedad Absoluta ( $w_{SEC}$ )	0.01729	
Volumen específico ( $v$ )	1.048	[m <sup>3</sup> /kg]
Entalpía ( $h$ )	105.6	[kJ/kg]
Humedad Relativa (HR)	12.72	%

### 4.3.3 Análisis del Proceso de Secado.

Se realiza el análisis para el primer ciclo de secado del aire, a través de la carta psicrométrica



**Figura 56 Carta Psicométrica para altas temperaturas**

**Punto A:** Condiciones atmosféricas del aire en Santo Domingo de los Tsáchilas 24 °C y 80% de Humedad Relativa

**Tramo A-B:** Proceso de *calentamiento sensible o simple*, por medio de resistencias eléctricas no se agrega humedad, por lo que la cantidad de agua por kg de aire seco se mantiene constante,  $w=cte$ .

**Punto B:** Se alcanza la temperatura de 60 °C

**Tramo BC:** Se produce un *enfriamiento evaporativo*; el proceso de secado tiene lugar en una cámara adiabática (no intercambia calor con su entorno) por lo cual la entalpía (línea 100 KJ/Kg) permanece constante pero por el calor que requiere el alimento para calentarse y evaporar el agua que contiene se da lugar al enfriamiento.

**Punto C:** Punto ideal donde se ha enfriado el aire sin llegar a saturarse, su rango está entre los 59 y 31 °C, antes de que se llegue a la curva de saturación, este punto recorre a lo largo de la línea de 100 KJ/kg de la entalpía.

Idealización para hallar la temperatura a la cual se puede predecir una saturación del aire de secado, por medio de la temperatura saber que se debe hacer una renovación de aire.

**Tramo CD:** Continuación del enfriamiento evaporativo, donde el aire está al 100% de humedad relativa.

**Punto D:** Se ha saturado el aire de secado, lo cual no es deseable, esto ocurre a una temperatura aproximada de 30°C.

Como se observa los puntos C y D se dirigen hacia la dirección superior, lo que va explica que el aire cada vez va ganando humedad, en el conocido proceso de humidificación.

#### 4.3.4 Densidad del aire de secado.

A partir de la Tabla 22 se puede calcular la densidad del aire bajo las condiciones de secado anteriormente descritas, a través de:

$$\rho_{sec} = \frac{1}{v_{sec}}$$

Ec. 7

$$\rho_{sec} = 0.954 \frac{kg}{m^3}$$

Donde:

$v_{sec}$ : Volumen específico en condiciones de secado, 1.048 [m<sup>3</sup>/kg]

$\rho_{sec}$ : Densidad del aire en condiciones de secado [kg/ m<sup>3</sup>]

#### 4.4 Curva de Secado

Los procesos de secado se describen por diagramas como:

- Contenido de humedad vs. tiempo de secado (Curva de secado).
- Velocidad de secado vs. contenido de humedad del material (Curva de velocidad de secado).
- Temperatura del material contra contenido de humedad (Curva de temperatura).

Estas curvas se obtienen experimentalmente a base del muestreo de pruebas de secado en laboratorios, con instrumentos de alta precisión.

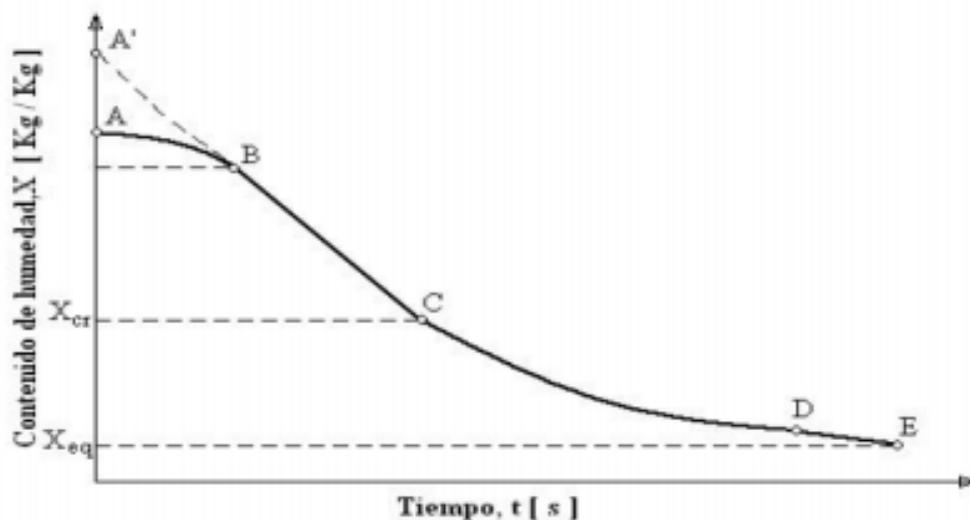


Figura 57 Curva de Secado

FUENTE: (Siguencia, 2013)

Se muestra en la figura 57, el contenido de humedad mientras ocurre el proceso de secado. En el período inicial de secado, tramo AB; en el tramo BC se observa una línea que tiene una pendiente constante, lo cual significa que el secado se mantiene constante hasta llegar al punto crítico C. A partir del punto crítico la pendiente varía y tiende a formar una asíntota con el contenido de humedad  $X_{eq}$  donde es el punto de humedad mínimo del proceso de secado, lo que significa que nunca se alcanza ese valor.

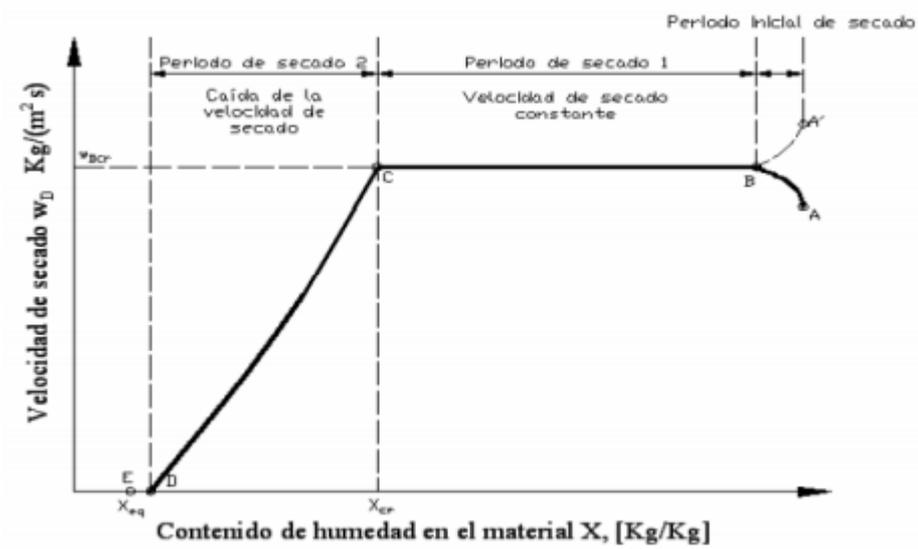
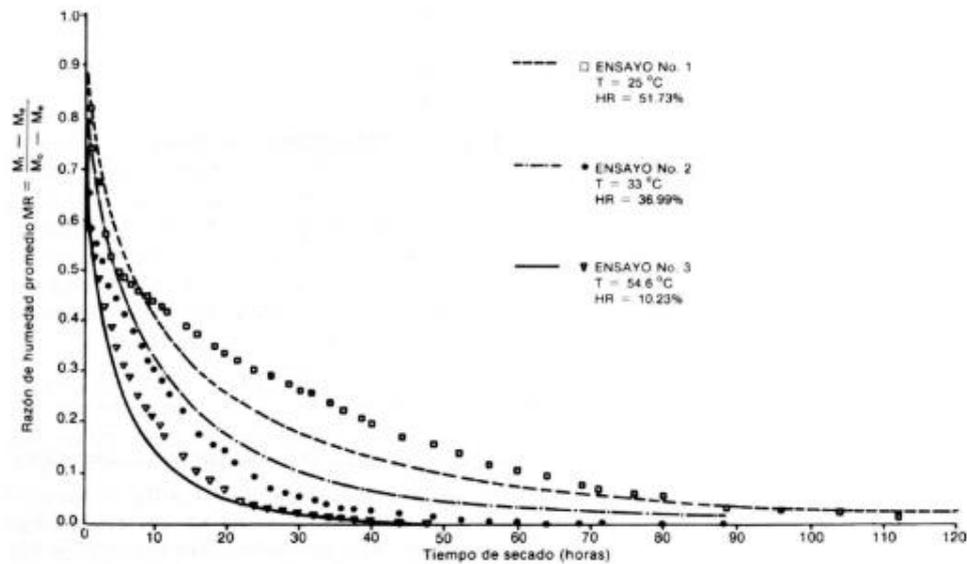


Figura 58 Curva de Velocidad de Secado

FUENTE: (Siguencia, 2013)

Se muestra en la figura 58 la cantidad de humedad removida desde el material secado por unidad de tiempo por unidad de superficie secada. Se observan los períodos de velocidad constante y decreciente del secado.

La velocidad de secado entre los puntos A y B se incrementa hasta que la temperatura de la superficie alcanza a secar alcanza el valor correspondiente a la línea BC, donde será constante y finalmente decae en el período CD, donde la partícula internamente ofrece mayor resistencia a ceder su humedad.



**Figura 59 Curva de Secado del Cacao fino de Aroma**  
**FUENTE:** ([www.dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902786.pdf](http://www.dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902786.pdf))

En la figura 59 se observa en línea continua para los procesos de secado y la línea formada por formas minúsculas es la simulación realizada para el estudio del secado de cacao fino de aroma proveniente de Colombia.

#### 4.5 Tiempo de secado

El tiempo de secado es uno de los parámetros que se tomó en cuenta para el diseño del secador, el objetivo es reducir el tiempo empleado en el secado para obtener la humedad adecuada para su almacenamiento.

Para encontrar el tiempo total de secado se sumaran el tiempo de secado a velocidad constante más el tiempo de secado a velocidad decreciente.

##### 4.5.1 Tiempo de Secado a Velocidad Constante.

Si el secador es de cámara de secado opaca, el aire se usa como medio de transporte de energía (aporte de calor al producto) y como medio de extracción de humedad. Esto hace que las velocidades del aire deban ser mucho mayores que los sistemas rotativos-convectivos; del orden de 0.4 a 3 [m/s]. (Corvalan, Horn, Roman, & Saravia, 2000)

La velocidad del aire dentro de la cámara de secado ha sido asignada con el valor de 1.5 m/s, y en el apartado 4.3.4 se obtuvo la densidad del aire que se utiliza en esta parte del proceso, se tiene entonces:

$$G_V = V_s \cdot 3600 \cdot \rho_{sec} \quad \text{Ec. 8}$$

$$G_V = 5.152 \times 10^3 \frac{kg}{m^2h}$$

Donde:

$V_s$ : Velocidad del aire dentro de la cámara de secado, 1.5 [m/s] (Corvalan, Horn, Roman, & Saravia, 2000)

$G_V$ : Velocidad másica del aire de secado [kg/m<sup>2</sup>h]

$\rho_{sec}$ : Densidad del aire en condiciones de secado [kg/ m<sup>3</sup>]

Se calcula el área de secado que es la superficie de producto que tendrá contacto con el aire de secado.

$$A_s = \frac{M_p}{\rho_{cacao} \cdot h_b} \quad \text{Ec. 9}$$

$$A_s = 5.4 \text{ m}^2$$

Donde:

$A_s$ : Área de secado [m<sup>2</sup>] (Corvalan, Horn, Roman, & Saravia, 2000)

$\rho_{cacao}$ : Densidad del cacao [kg/ m<sup>3</sup>]

$h_b$ : Altura de la capa de cacao por bandeja [m<sup>2</sup>]

El coeficiente de transferencia de calor por convección para un flujo de aire paralelo a las bandejas es:

$$h_c = (0.0735 \cdot G_V)^{0.8} \quad \text{Ec. 10}$$

$$h_c = 115.5 \frac{kg}{m^2h}$$

Donde:

$h_c$ : Coeficiente de convección para flujo paralelo [kg/m<sup>2</sup>h]

$G_V$ : Velocidad másica del aire de secado [kg/m<sup>2</sup>h]

La velocidad constante de secado es:

$$R_c = h_c \frac{(T_{sec} - T_g)}{H_{fg}} \quad \text{Ec. 11}$$

$$R_c = 1.535 \frac{kg}{m^2h}$$

Donde:

$R_c$ : Velocidad constante de secado por unidad de tiempo [kg/m<sup>2</sup>h] (Guachamín Velásquez, 2010)

$T_{sec}$ : Temperatura de aire de secado, 333 K (60 °C)

$T_g$ : Temperatura de granos de cacao en bulbo húmedo, 303 K (30 °C)

$H_{fg}$ : Calor latente de vaporación a la temperatura de bulbo húmedo, 2257 [KJ/kg]

El tiempo de secado a velocidad constante:

$$t_c = \frac{M_{seca}(X_{\omega i} - X_c)}{A_s R_c} \quad \text{Ec. 12}$$

$$t_{\square} = 0.436 h$$

Donde:

$t_c$ : Tiempo de secado a velocidad constante [h]<sup>1</sup>

$M_{seca}$ : Masa seca de cacao, 53.2 [kg]<sup>2</sup>

$X_{\omega i}$ : Porcentaje de humedad inicial del cacao, 46.8 [%]

$X_c$ : Humedad crítica del material en base seca, 40<sup>3</sup> [%]

$A_s$ : Área de secado, 5.4 [m<sup>2</sup>]

$R_c$ : Velocidad constante de secado por unidad de tiempo, 1.454 [kg/m<sup>2</sup>h]

#### 4.5.2 Tiempo de Secado a Velocidad Decreciente.

La velocidad decreciente:

$$R_d = R_c \frac{X_{\omega f} - X_e}{X_c - X_e} \quad \text{Ec. 13}$$

$$R_d = 0.088 \frac{kg}{m^2 h}$$

Donde:

$R_d$ : Velocidad decreciente del aire de secado [kg/m<sup>2</sup>h]

$X_e$ : Humedad de equilibrio del material en base seca, 5<sup>4</sup> [%]

$X_{\omega f}$ : Porcentaje de humedad final del cacao, 7 [%]

$X_c$ : Humedad crítica del material en base seca, 40<sup>5</sup> [%]

El tiempo de secado a velocidad decreciente es:

$$t_d = \frac{M_{seca}(X_c - X_e)}{A_s R_c} \ln \left( \frac{X_c - X_e}{X_{\omega f} - X_e} \right) \quad \text{Ec. 14}$$

<sup>1</sup> (Guachamín Velásquez, 2010), pag 64.

<sup>2</sup> Corvalan, pag 5-3.

<sup>3</sup> <http://www.cocoafederation.com/issues/fumigation/LINKkrepfor10cd.pdf>

<sup>4</sup> <http://www.cocoafederation.com/issues/fumigation/LINKkrepfor10cd.pdf>

<sup>5</sup> <http://www.cocoafederation.com/issues/fumigation/LINKkrepfor10cd.pdf>

$$t_d = 6.429 \text{ h}$$

Donde:

$t_d$ : Tiempo de secado a velocidad decreciente [h]

$M_{seca}$ : Masa seca de cacao, 53.2 [kg] <sup>6</sup>

$A_s$ : Área de secado, 5.4 [m<sup>2</sup>]

$R_c$ : Velocidad constante de secado por unidad de tiempo, 1.54 [kg/m<sup>2</sup>h]

$X_e$ : Humedad de equilibrio del material en base seca, 5 <sup>7</sup>[%]

$X_{\omega f}$ : Porcentaje de humedad final del cacao, 7 [%]

$X_c$ : Humedad crítica del material en base seca, 40<sup>8</sup> [%]

El tiempo total de secado será entonces:

$$t_{TOTAL} = t_c + t_d \quad \text{Ec. 15}$$

$$t_{TOTAL} = 6.865 \text{ h}$$

Donde:

$t_{TOTAL}$ : Tiempo total de secado, [h]

$t_c$ : Tiempo de secado a velocidad constante, 0.436 [h]

$t_d$ : Tiempo de secado a velocidad decreciente, 6.429 [h]

En la figura 60 se puede observar que sucede cuando aumenta la velocidad dentro de la cámara de secado de 0.25 m/s a 1.5 m/s:

---

<sup>6</sup>Corvalan, pag 5-3.

<sup>7</sup> <http://www.cocoafederation.com/issues/fumigation/LINKkrepfor10cd.pdf>

<sup>8</sup> <http://www.cocoafederation.com/issues/fumigation/LINKkrepfor10cd.pdf>



**Figura 60 Relación Velocidad vs Tiempo**

## 4.6 Balance Energético

El propósito de hacer un balance energético del sistema es conocer el calor necesario para secar 100 kg de cacao tomando en cuenta las pérdidas de calor.

### 4.6.1 Calor Útil.

Para realizar el cálculo del calor útil se debe considerar que el mismo está constituido por:

- Calor Sensible del Producto
- Calor Sensible del Agua
- Calor Latente del Agua
- Calor Sensible de los Soportes

Para realizar los siguientes cálculos se han investigado coeficientes térmicos experimentales, bajo los cuales se han realizado iteraciones e interpolaciones, para obtener los resultantes en las unidades del SI bajo los parámetros del proceso ya definidos en secciones anteriores.

#### 4.6.1.1 Calor Sensible del Producto.

Cantidad de calor que recibe un cuerpo y hace que este aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular, y por tanto su estado.

Se calcula mediante la expresión:

$$Q_s = M_{seca} \cdot cp_{cacao} \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 16}$$

$$Q_s = 3218 \text{ KJ}$$

Donde:

$Q_s$ : Calor sensible del cacao [KJ]

$M_{seca}$ : Masa seca de cacao [kg]

$cp_{cacao}$ : Calor específico del cacao a presión contante, 1728 [J/kg°K]

$\Delta T$ : Diferencia entre la temperatura de secado y la temperatura ambiente, 35 [K]

#### 4.6.1.2 Calor Sensible del Agua.

La temperatura absoluta promedio a la cual se realiza el proceso de secado se calcula obteniendo un promedio de la misma en grados Kelvin, a partir de la Ecuación 17.

$$T_{prom} = \left( \frac{T_{sec} + T_{med}}{2} \right) \quad \text{Ec. 17}$$

$$T_{prom} = 315.5 \text{ K}$$

Donde:

$T_{prom}$ : Temperatura promedio de secado [K]

$T_{sec}$ : Temperatura de aire de secado, 333 K (60 °C)

$T_{med}$ : Temperatura del medio ambiente en Santo Domingo de los Tsáchilas, 298 K (25 °C)

A la temperatura promedio el calor específico del agua es:

$$cp_{H_2O} = 4179 \frac{KJ}{kg K}$$

Donde:

$cp_{H_2O}$ : Calor específico del agua a 315 °K

Para determinar el calor sensible del agua, se tiene:

$$Q_{sH_2O} = \Delta\omega \cdot cp_{H_2O} \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 18}$$

$$Q_{sH_2O} = 6260 KJ$$

Donde:

$Q_{sH_2O}$ : Calor sensible del agua [KJ]

$\Delta\omega$ : Masa de agua a evaporarse [kg]

$cp_{H_2O}$ : Calor específico del agua a temperatura promedio [KJ/kg K]

#### 4.6.1.3 Calor Latente del Agua.

Es el calor necesario para poder realizar el cambio de fase de líquido a vapor evaluado en la cantidad de masa de agua a evaporar.

$$Q_L = \Delta\omega \cdot H_{fg} \quad \text{Ec. 19}$$

$$Q_L = 9.659 \times 10^4 KJ$$

Donde:

$Q_L$ : Calor latente del agua [KJ]

$\Delta\omega$ : Masa de agua a evaporarse [kg]

$H_{fg}$ : Calor latente de vaporización del agua [KJ/kg]

#### 4.6.1.4 Calor Sensible de las bandejas.

A partir del software de simulación SolidWorks se obtuvo el peso de cada una de las 10 bandejas dimensionadas en el apartado 4.2.3, y por medio de la capacidad calorífica del acero, se obtiene:

$$Q_{sb} = n_b \cdot m_{ban} \cdot cp_{inox} \cdot \Delta T \quad Ec. 20$$

$$Q_{sb} = 867.2 \text{ J}$$

Donde:

$Q_{sb}$ : Calor sensible de las bandejas [KJ]

$n_b$ : Número de bandejas en el horno, 10

$m_{ban}$ : Masa de cada bandeja, 5.38 [kg]

$cp_{inox}$ : Calor específico del acero inoxidable, 460.55 [J/kg K]

$\Delta T$ : Diferencia entre la temperatura de secado y la temperatura ambiente, 35 [K]

Finalmente, el calor útil calculado por la sumatoria de los calores sensibles del producto, del agua, el calor latente del agua y de la bandeja:

$$Q_{Util} = Q_s + Q_{sH_2O} + Q_L + Q_{sb} \quad Ec. 21$$

$$Q_{Util} = 1.069 \times 10^5 \text{ KJ}$$

Donde

$Q_{util}$ : Calor útil total del proceso de secado, [KJ]

$Q_s$ : Calor sensible del cacao, 3218 [KJ]

$Q_{sb}$ : Calor sensible de las bandejas, 867.2 [KJ]

$Q_{SH_2O}$ : Calor sensible del agua, 6260 [KJ]

$Q_L$ : Calor latente del agua, 9659 [KJ]

Dividiendo para el tiempo de secado, calculado en el apartado 4.4.2, se obtiene:

$$Q_U = \frac{Q_{Util}}{t_{TOTAL} \times 3600} \quad \text{Ec. 22}$$

$$Q_U = 4.327 \text{ KW}$$

Donde:

$Q_U$ : Potencia resultante del calor útil [KW]

$Q_{util}$ : Calor útil total del proceso de secado, 106900[KJ]

$t_{TOTAL}$ : Tiempo total de secado, 6.865 [h]

#### 4.6.2 Calor Perdido.

##### 4.6.2.1 Calor perdido en las paredes.

###### ▪ Dimensionamiento De La Cámara De Secado De Granos De Cacao

Se muestra un esquema con las dimensiones de la carcasa de acero galvanizado que reviste el horno. Para realizar el cálculo del área general, para las pérdidas de calor en las paredes del secador.

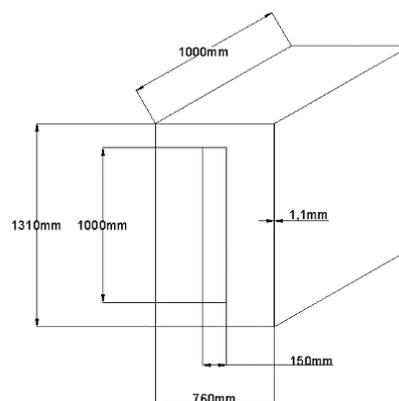


Figura 61 Dimensiones de la carcasa metálica de revestimiento

Se calcula el área externa con lo que eventualmente se calculara el coeficiente global de transferencia de calor:

$$A_o = 2 \cdot ce_{alto} \cdot ce_{largo} + 2 \cdot ce_{ancho} \cdot ce_{largo} + 2 \cdot ce_{ancho} \cdot ce_{alto} - v_{ancho} \cdot v_{alto} \quad \text{Ec. 23}$$

$$A_o = 5.981 \text{ m}^2$$

Donde:

$A_o$ : Área de la cámara externa para el secador de cacao, [m<sup>2</sup>]

$ce_{alto}$ : Alto de la cámara externa para el secador de cacao, 1.31 [m]

$ce_{ancho}$ : Ancho de la cámara externa para el secador de cacao, 0.76 [m]

$ce_{largo}$ : Largo de la cámara externa para el secador de cacao, 1 [m]

$v_{ancho}$ : Ancho del agujero para el vidrio aislante, 0.15 [m]

$v_{alto}$ : Alto del agujero para el vidrio aislante, 1 [m]

Mediante software de diseño, en la Figura 62 se observa el modelo con las dimensiones determinadas en este apartado.

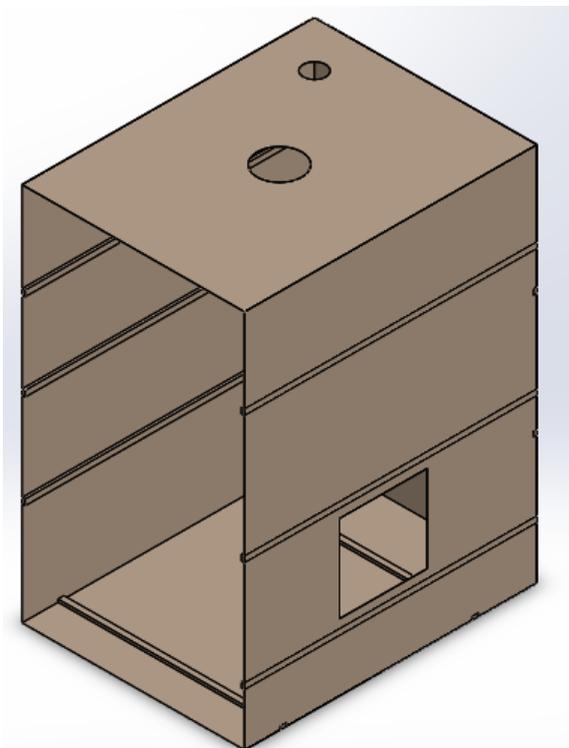


Figura 62 Modelo CAD de la cámara externa de secado

- Diseño del Vidrio Aislante Térmico

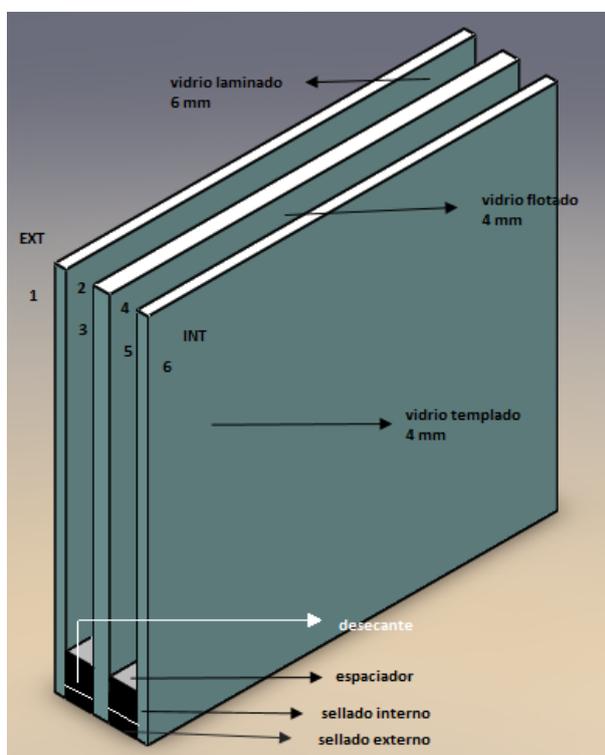
La diferencia de temperatura entre dos puntos de un cuerpo provocan la transmisión de calor sea por conducción, convección o radiación.



**Figura 63 Formas de transferencia de calor**

FUENTE: ([www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP\\_YGP\\_CHAP\\_II.pdf](http://www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP_YGP_CHAP_II.pdf))

Con el fin de poder observar el cacao durante el proceso de secado evitando grandes pérdidas de calor se ha seleccionado un vidrio cámara del tipo de triple acristalamiento. El vidrio aislante de este tipo está constituido por tres vidrios separados por 2 secciones espaciadoras, están sellados herméticamente a lo largo de todo su perímetro.



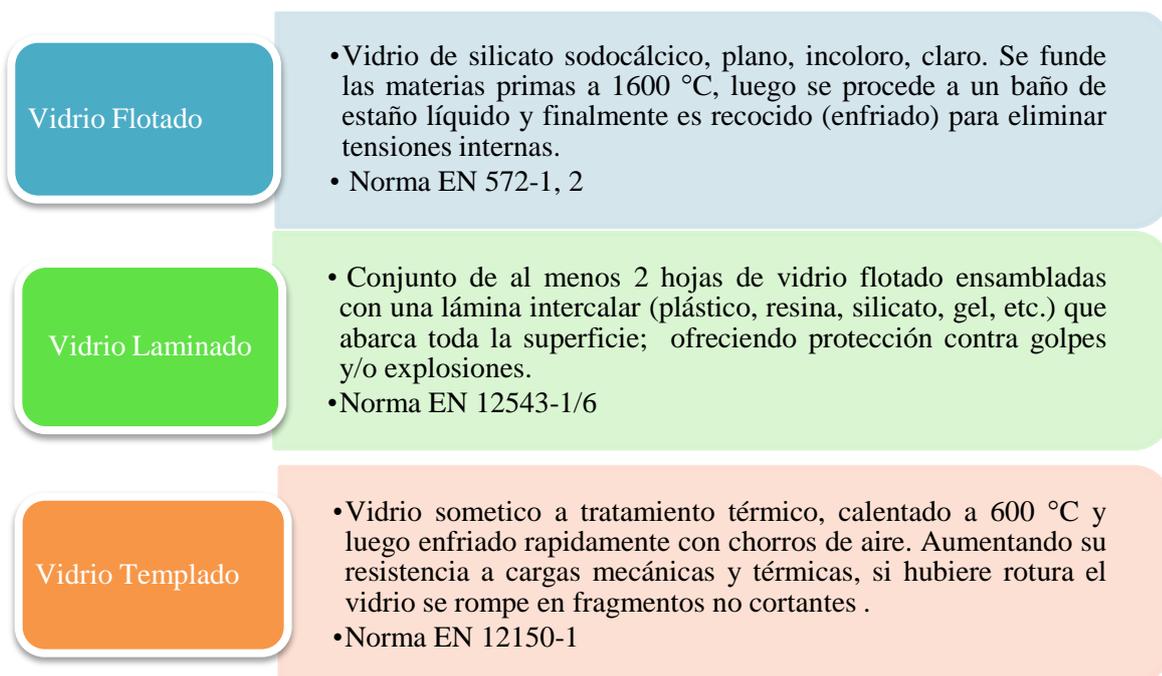
**Figura 64 Partes del Vidrio Aislante doble cámara**

### Descripción de las partes del vidrio:

El vidrio posee sellado orgánico con espaciador tubular, su perfil intercalario está relleno de un absorbente para la humedad contenida en el aire de las cámaras entre los vidrios garantizando la estanquidad (sistema de protección para evitar el paso del agua a través de una construcción o de los elementos constructivos exteriores.) (<http://www.construmatica.com/construpedia/Estanquidad>)

Según los fabricantes de vidrios VIDRESIF, se tienen las siguientes partes:

- **Cámara.** Espacio libre entre las hojas de vidrio, su espesor debe ser mayor a 6 mm.
- **Relleno de la cámara.** Puede ser aire y/o gas deshidratado como argón o xenón. En este caso es aire.
- **Espaciador.** Elemento usado para separar las hojas de vidrio y mantener el ancho de la cámara en todo el perímetro exterior del vidrio aislante.
- **Desecante.** Producto concebido para disminuir la presión de vapor húmedo en el interior de la cámara del vidrio aislante.
- **Sellante Interior (Primera Barrera/ Butilo).** Producto elastómero no vulcanizado, blando; su adherencia es buena. Ofrece propiedades mecánicas de cohesión y adherencia entre el vidrio y el intercalario.
- **Sellado de Borde (Segunda Barrera/ Poliuretano).** Producto elastómero de dos componentes. Buena adherencia, resiste a la oxidación.



**Figura 65 Descripción de los Vidrios**

FUENTE: ([www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP\\_YGP\\_CHAP\\_II.pdf](http://www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP_YGP_CHAP_II.pdf))

Con la configuración del vidrio cámara se obtiene el siguiente valor de transmitancia térmica que servirá para hacer el cálculo de pérdidas de calor a través del vidrio de la puerta:

Valores de transmitancia térmica de distintos tipos de acristalamiento

Espacio x (mm)	4-x-4			4-x-4 HR* (ε = 0,04)			4-x-4-x-4
	aire	90% argón	90% kryptón	aire	90% argón	90% kryptón	aire
6	3,3	3,0	2,8	2,5	2,0	1,4	2,3
10	3,0	2,8	2,6	1,8	1,5	1,0	2,0
12	2,9	2,7	2,6	1,7	1,3	1,1	1,9
15	2,7	2,6	2,6	1,5	1,2	1,1	1,8
20	2,8	2,6	2,6	1,4	1,2	1,2	1,7

\* HR = Alto rendimiento o Baja emisividad (E).

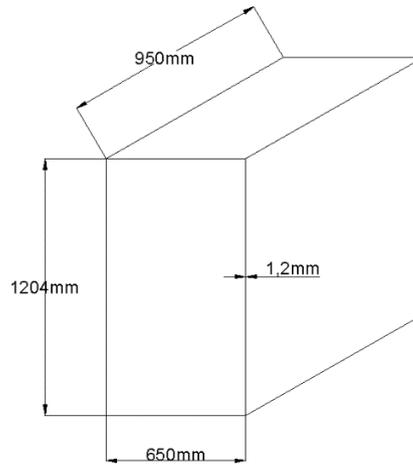
**Figura 66 Tabla de valores de transmitancia térmica**

FUENTE: ([www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP\\_YGP\\_CHAP\\_II.pdf](http://www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP_YGP_CHAP_II.pdf))

Finalmente se obtiene:

$$U_{v.cam} = 2.0 \frac{W}{m^2K}$$

Con las dimensiones de la cámara de secado interna se encuentra el área y perímetro de convección, se muestra un esquema a continuación.



**Figura 67 Dimensiones de la cámara de secado interna**

Con las dimensiones de la cámara interna del secador se calcula el área y perímetro de convección:

$$A_i = c_{i_{\text{alto}}} \cdot c_{i_{\text{largo}}} \quad \text{Ec. 24}$$

$$A_i = 1.144 \text{ m}^2$$

Donde:

$A_i$ : Área interna o área de convección, [m<sup>2</sup>]

$c_{i_{\text{alto}}}$ : Alto de la cama interna de secado, 1.204 [m]

$c_{i_{\text{largo}}}$ : Largo de la cámara interna de secado, 0.95 [m]

$$P = 2 \cdot c_{i_{\text{alto}}} + 2 \cdot c_{i_{\text{largo}}} \quad \text{Ec. 25}$$

$$P = 4.308 \text{ m}$$

Donde:

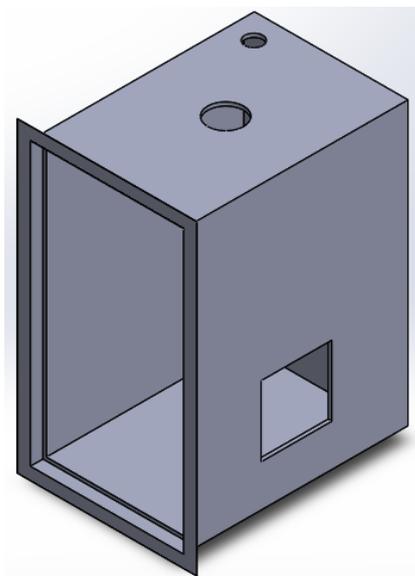
$P$ : Perímetro de convección, [m]

$c_{i_{alto}}$ : Alto de la cama interna de secado, 1.204 [m]

$c_{i_{largo}}$ : Largo de la cámara interna de secado, 0.95 [m]

La longitud de convección (ancho de la cámara de secado) será la longitud de recorrido del aire al entrar a la cámara de secado, entonces resultará 0.65 [m].

Se presenta en la figura 68 el diseño CAD de la cámara interna de secado, correspondiente al diseño calculado.



**Figura 68 Modelo CAD de cámara interna**

### **Diámetro hidráulico**

Es un término utilizado en hidráulica cuando se manejan fluidos en canales y tubos no circulares. Con el área y perímetro de convección se calcula el diámetro hidráulico para estudiar el fluido (aire) dentro de la cámara de secado.

$$D_h = \frac{4 \cdot A_i}{P}$$

**Ec. 26**

$$D_h = 1.062 \text{ m}$$

Donde:

$D_h$ : Diámetro hidráulico, [m]

$A_i$ : Área interna o área de convección, 1.144 [m<sup>2</sup>]

$P$ : Perímetro de convección, 4.308 [m]

Mediante iteraciones se escogió la velocidad del aire de 1,5 [m/s] para poder utilizar la ecuación de Dittus-Boelter para encontrar el coeficiente de convección dentro de la cámara de secado, esta se aplica para un fluido turbulento ese decir que el número de Reynolds  $Re > 2320$ .

$$Re = \frac{V_s \cdot D_h}{\nu} \quad \text{Ec. 27}$$

$$Re = 8.36 \times 10^4$$

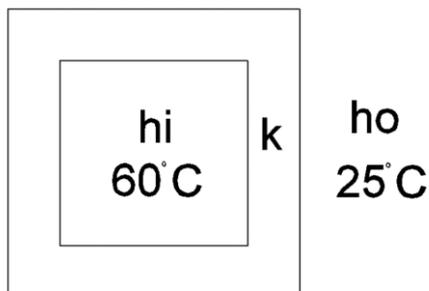
Donde:

$Re$ : Número de Reynolds

$V_s$ : Velocidad del aire, 1.5 [m/s]

$D_h$ : Diámetro hidráulico, [m]

$\nu$ : Viscosidad cinemática del aire a 60 °C,  $1.90544 \times 10^{-5}$  [m<sup>2</sup>/s]<sup>9</sup>



**Figura 69** Esquema de transferencia de calor en el secador de calor

<sup>9</sup> (Pitts & Sissom, 2004), pág. 314

#### 4.6.2.2 Cálculo del coeficiente interior de transferencia de calor por convección.

Ecuación de Dittus-Boelter para:  $10000 < Re < 120000$ ,  $0.7 < Pr < 120$ . Esta ecuación se debe limitar para casos en los que la diferencia entre la temperatura superficial del horno y la interior no exceden los  $100^{\circ}\text{F}$  ( $37.8^{\circ}\text{C}$ ), en este caso es de  $35^{\circ}\text{C}$ , por lo que se aplica.

$$\overline{Nu}_D = \frac{h_i D_h}{k_{aire}} = (0.023) \cdot Re^{0.8} Pr^n \quad \text{Ec. 28}$$

$$h_i = \frac{[(0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^n) \cdot k_{aire}]}{D_h}$$

$$h_i = 4.854 \frac{W}{m^2 K}$$

Donde:

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

$D_h$ : Diámetro hidráulico, 1.062 [m]

$Pr$ : Número de Prandtl<sup>10</sup>, 0.707

$Re$ : Número de Reynolds, 83600

$n$ : Coeficiente para enfriamiento del fluido<sup>11</sup>, 0.3

$k_{aire}$ : Conductividad térmica del aire a  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $0.0287 [\text{W}/\text{m K}]$ <sup>12</sup>

#### 4.6.2.3 Cálculo del coeficiente exterior de transferencia de calor por convección.

A continuación se realiza el cálculo del coeficiente exterior de transferencia de calor, para esto se utiliza la ecuación de Watmuff.

$$h_o = 2.8 + 3 \cdot V_e \quad \text{Ec. 29}$$

$$h_o = 10.6 \frac{W}{m^2 K}$$

<sup>10</sup> (Pitts & Sissom, 2004), pág. 314

<sup>11</sup> (Pitts & Sissom, 2004), pág. 170

<sup>12</sup> (Pitts & Sissom, 2004), pág. 314

Donde:

$h_o$ : Coeficiente externo de convección térmica, [W/m<sup>2</sup> K]

$V_e$ : Velocidad del aire en Santo Domingo de los Tsáchilas, 2.6 [m/s]<sup>13</sup>

#### 4.6.2.4 Cálculo del espesor del aislante.

Se tomó como material para el aislante la lana de roca, por su baja conductividad térmica, es ampliamente utilizado en el sector industrial ya que soporta altas temperaturas de hasta 650 °C, no genera flama ni gases tóxicos lo que es muy útil en la industria alimenticia. Es un material fácil de manejar.

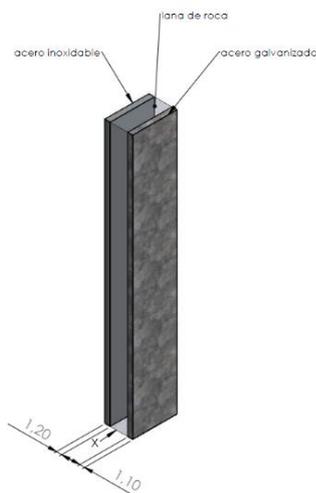


Figura 70 Esquema de conformación de sánduche

En la ecuación 28 se obtienen las condiciones interiores

**Tabla 23**  
*Capas de material*

Material	Espesor [mm]	k [W/mK]
Acero inoxidable	1.2	16
Acero galvanizado	1.1	60

Con la ecuación 29 se obtienen las condiciones externas

<sup>13</sup> INIAMI pág. 4-8

$$h_o = 10.6 \frac{W}{m^2K}$$

Para encontrar las resistencias de las capas de los materiales se utiliza la ecuación 28 y para hallar la resistencia del interior y exterior la ecuación 29

$$R_{cond\_plana} = \frac{esp}{k} \quad \text{Ec. 30}$$

Donde:

$R_{cond\_plana}$ : Es resistencia térmica por conducción, [m<sup>2</sup>K/W]<sup>14</sup>

$esp$ : Es el espesor del material, [m]

$k$ : Es la conductividad térmica del material, [W/m K]

$$R_{conv\_plana} = \frac{1}{h_{conv}} \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

$R_{conv\_plana}$ : Es resistencia térmica por convección [m<sup>2</sup>K/W]<sup>15</sup>

$h_{conv}$ : Es el coeficiente de convección [W/m K]

**Tabla 24**  
**Resultados de la resistencia térmica**

Especificaciones	Resistencia térmica [m <sup>2</sup> K/W]
<b>Interior</b>	0.206
<b>Acero inoxidable</b>	0.075
<b>Acero Galvanizado</b>	0.018
<b>Exterior</b>	0.094
<b>Total</b>	0.393

Se calcula la resistencia de aislamiento, por la zona climática tomando un coeficiente global de transferencia de calor de 0.66 W/m<sup>2</sup> K y la resistencia térmica es su inversa<sup>16</sup>, a esta se le resta el valor total de resistencia térmica.

<sup>14</sup> (IDAE, 2007), pag. 33

<sup>15</sup> (IDAE, 2007), pag. 33

<sup>16</sup> (IDAE, 2007)

$$R_{\text{aislamiento}} = 1.515 - 0.393$$

$$R_{\text{aislamiento}} = 1.122 \frac{m^2 K}{W}$$

Por lo que se obtiene el espesor del aislante:

$$esp = R_{\text{aislamiento}} \cdot k \quad \text{Ec. 32}$$

$$esp = 0.037 \text{ m}$$

Donde:

$k$ : Es la conductividad térmica del material, 0.033 [W/m K]

**Tabla 25**  
*Presentaciones de lana mineral*

Presentación	Dimensiones	Espesor
<b>Plancha</b>	1.22x2.44 [m]	2" a 4"
<b>Colchoneta pespunteada</b>	Requerido por cliente	Requerido por cliente
<b>Preformada</b>	0.30x0.90 [m]	1" a 5"

FUENTE: (<http://www.loweindustrial.com/lanamineral.html>)

Se trabaja con planchas de 2" de lana de roca para el aislamiento de la máquina secadora de cacao.

Se debe tener conciencia de que el aislamiento no elimina la transferencia de calor; simplemente la reduce. Entre más grueso sea el aislamiento, menor será la transferencia de calor, pero también más elevado el costo del aislamiento. (CONUEE, 2009)



**Figura 71 Costo energético vs Espesor de aislante**  
**FUENTE: (CONUEE, 2009)**

#### 4.6.2.5 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor global.

El coeficiente global de transferencia de calor se utiliza para realizar el cálculo de pérdidas de calor en las paredes de la cámara de secado.

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_a}{k_a} + \frac{e_l}{k_l} + \frac{e_{ag}}{k_{ag}} + \frac{1}{h_o}} + U_{v.cam} \quad \text{Ec. 33}$$

$$U_o = 2.661 \frac{W}{m^2 K}$$

Donde:

$U_o$ : Coeficiente global de transferencia de calor, [W/m<sup>2</sup> K]

$h_i$ : Coeficiente interno de convección térmica, 4.854 [W/m<sup>2</sup> K]

$e_a$ : Espesor del acero inoxidable, 0.0012 [m]

$k_a$ : Coeficiente de conductividad térmica del acero inoxidable, 16 [W/m K]

$e_l$ : Espesor del aislante, 0.04 [m]

$k_l$ : Coeficiente de conductividad térmica del aislante, 0.033 [W/m K]

$e_{ag}$ : Espesor del acero galvanizado, 0.0011 [m]

$k_{ag}$ : Coeficiente de conductividad térmica del acero galvanizado, 60 [W/m K]

$h_o$ : Coeficiente externo de convección térmica, 10.6 [W/m<sup>2</sup> K]

$U_{v.cam}$ : Coeficiente de transferencia de calor del vidrio cámara, [W/m<sup>2</sup> K]

Con el área total, el coeficiente de transferencia de calor global y la diferencia de temperatura entre el interior y exterior del horno, se tiene las pérdidas en las paredes del secador de cacao:

$$Q_p = U_o \cdot A_o \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 34}$$

$$Q_p = 557.059 \text{ W}$$

Donde:

$Q_p$ : Calor perdido en paredes [W]

$U_o$ : Coeficiente global de transferencia de calor, 2.661 [W/m<sup>2</sup> K]

$A_o$ : Área externa, 5.981 [m<sup>2</sup>]

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura, 35 [K]

#### 4.6.2.6 Cálculo de pérdidas por cambios de aire.

El calor perdido por cambios de aire dentro de la cámara de secado, se calcula el volumen de la cámara, se toma la densidad del aire a 60°C. El número de cambios de aire según norma ASHRAE, se recomienda abrir el horno una vez por hora, como la cámara de secado es relativamente pequeña y el tiempo de secado es de 7 horas se recomienda abrir el horno 4 veces en el proceso de secado.

$$Q_{pa} = N_a \cdot \delta_{aire} \cdot Vc \cdot cp_{aire} \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 35}$$

$$Q_{pa} = 4.116 \text{ W}$$

Donde:

$Q_{pa}$ : Calor perdido por cambios de aire [W]

$N_a$ : Cambios de aire<sup>17</sup>, 4

$\delta_{aire}$ : Densidad del aire a 60°C, 1.05882 [kg/m<sup>3</sup>]

$V_c$ : Volumen de la cámara interior de secado, 0.743 [m<sup>3</sup>]

$cp_{aire}$ : Calor específico del aire a 60°C, 1.0071x10<sup>3</sup> [J/kg K]

$\Delta T$ : Diferencia entre la temperatura de secado y la temperatura ambiente, 35 [K]

**NOTA:** Para efectos de cálculo se divide el número de cambios de aire,  $N_a$ , para el tiempo total de secado en segundos.

#### 4.6.3 Calor Total.

Con lo que se obtiene finalmente mediante balance energético del sistema, el calor total que se necesitará para el secado de 100 kg de cacao.

$$\begin{aligned} Q_{TOTAL} &= Q_U + Q_p + Q_{pa} \\ Q_{TOTAL} &= 4.889 \text{ K} \end{aligned} \qquad \text{Ec. 36}$$

Donde:

$Q_{TOTAL}$ : Calor total [KW]

$Q_U$ : Calor útil [KW]

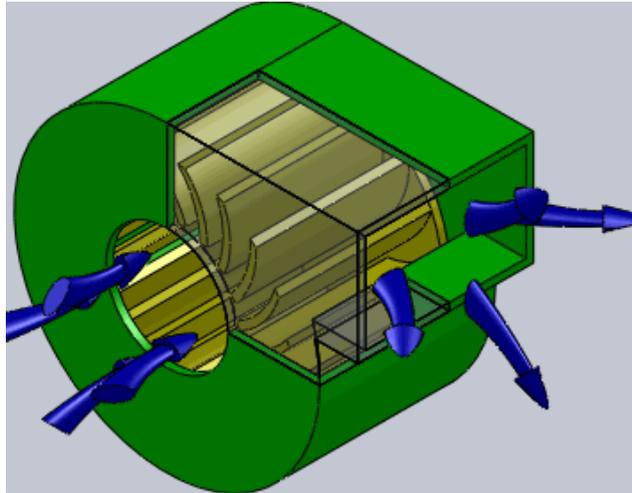
#### 4.7 Selección del Ventilador

El ventilador es una turbomáquina que convierte la energía mecánica de un motor en energía neumática (presión y caudal), a través de un rotor con aspas o álabes, que le imprimen energía cinética al aire. (Gutiérrez, Sanz, Oliveros, & Orozco, 2014)

---

<sup>17</sup> Noma ASHRAE

En el secado de granos para capas finas se usan generalmente axiales, para capas gruesas de grano los más utilizados son los ventiladores centrífugos cuyo principio es la absorción de aire en dirección paralela al eje del rotor y sale expulsado perpendicularmente.



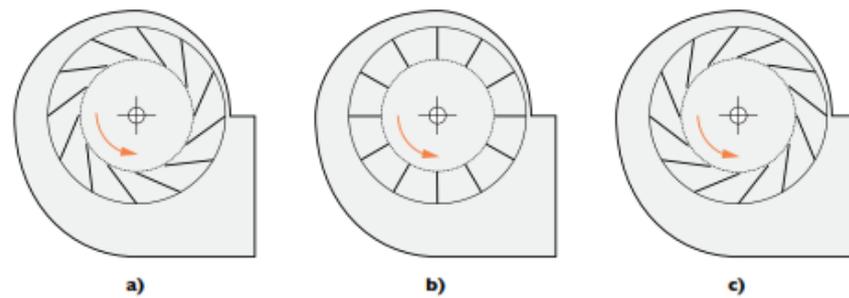
**Figura 72 Esquema Funcionamiento de un Ventilador Centrífugo**

**FUENTE:** ([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Centrifugal\\_fan.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Centrifugal_fan.gif))

El ventilador centrífugo, como ya se explicó tiene un rotor y una envolvente en forma de caracol que de manera conveniente redirecciona el fluido una vez que la energía cinética del aire a aumentado por efecto de la presión negativa generada por el giro del motor y el movimiento de los álabes.

Existe un tipo de clasificación acorde a la curvatura y disposición de los álabes, observando que el sentido de giro debe ser siempre antihorario; se tiene de esta manera:

- **Álabes inclinados hacia adelante.** Variedad de caudales hasta 2300 m<sup>3</sup>/min, operan a presiones bajas, no producen mucho ruido, tienden a sobrecargarse con las presiones y operación inestable.
- **Álabes radiales.** Autolimpiables, sobrecarga al trabajar con altas presiones y la potencia aumenta con el caudal.
- **Álabes inclinados hacia atrás.** Eficiencia estática entre 60 y 80%, no se sobrecargan por efectos de la presión, hasta 8000 m<sup>3</sup>/min de caudal, alto rendimiento, autolimpiables y silenciosos.



**Figura 73** Volutas y rotores de ventiladores centrífugos a) álabes inclinados hacia adelante, b) álabes radiales, c) álabes inclinados hacia atrás

FUENTE: (<http://www.cenicafe.org/es/publications/lib37751.pdf>)

Se selecciona de esta manera el sistema más óptimo de ventilación estaría compuesto por un rotor posicionado de tal manera que sus aspas estén dispuestas hacia atrás, teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas de trabajo; el dimensionamiento se realiza a través de la siguiente información:

- Caudal o flujo másico de aire
- Presión Estática
- Tipo de servicio
- Ruido
- Tipo de acople

#### 4.7.1 Caudal o Flujo másico del aire.

Para el cálculo del flujo másico de aire necesario del ventilador se tiene la ecuación 37:

$$C = ((h * l) - Ab) * V \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

$C$ : Flujo volumétrico,  $[m^3/s]$ <sup>18</sup>

$h$ : Altura de la cámara de secado,  $[m]$

---

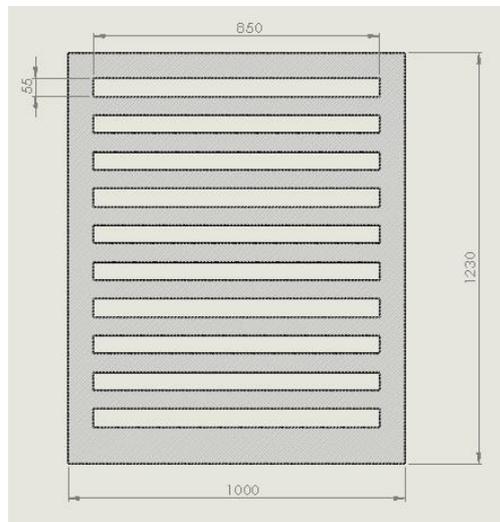
<sup>18</sup> (Vargas & Garzón, 2010)

$l$ : Ancho de la cámara de secado, [m]

$Ab$ : Área transversal de las bandejas, [m<sup>2</sup>]

$V$ : Velocidad en la cámara, [m/s]

Dentro de la ecuación 37, se puede resumir que la expresión dentro del paréntesis es el área transversal por la cual va a circular el aire en la cámara libremente; por lo tanto se procede al cálculo:



**Figura 74** Sección transversal de la cámara de secado

$$As = h * l - n_b * (h_b * l_b) \quad \text{Ec. 38}$$

$$As = 1,230 \text{ m} * 1 \text{ m} - 10 * 0,85 \text{ m} * 0,055 \text{ m}$$

$$As = 0,076 \text{ m}^2$$

Donde:

$As$ : sección transversal de la cámara de secado, [m<sup>2</sup>]

$h$ : alto lateral, [m]

$l$ : ancho lateral, [m]

$nb$ : número de bandejas

$h_b$ : alto bandeja, [m]

$lb$ : ancho bandeja, [m]

Reemplazando en la Ecuación 38, se tiene entonces:

$$C = A_s * V \quad \text{Ec. 39}$$

$$C = 0.076 \text{ m}^2 * 1.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$C = 0.114 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

$C$ : Flujo volumétrico, [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$A_s$ : sección transversal de la cámara de secado,  $0.076 \text{ m}^2$

$V$ : Velocidad en la cámara,  $1.5 \text{ m/s}$

Para fines de cálculo, se realizan conversiones de unidades del flujo másico a CFM y a  $\text{m}^3/\text{h}$ .

$$C = 0.114 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$C = 410.4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$C = 241.55 \text{ CFM}$$

Con el presente cálculo se busca un ventilador que cumpla con los requerimientos y se ajuste de manera conveniente a la entrada de los ductos.



**Figura 75 Ventilador Centrifugo Soler & Palau BD**

FUENTE: ([http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf))

Obtenemos la característica técnica del motor, una de las aplicaciones del fabricante es la deshumificación, por lo cual se ajusta a su marco de uso.

Se toma en cuenta la necesidad de que sus componentes resistan un trabajo a 60 °C que se va a tener en la cámara y su retorno a ductos de entrada.

#### 4.7.2 Pérdidas de carga en ductos.

Para ventilar un recinto, ya sea impulsando aire o extrayéndolo se debe conectar al ventilador a través de un conducto, una tubería de mayor o menor longitud y de una u otra forma o sección. (Soler & Palau, 2012)

En este apartado se calculan las pérdidas de carga debido al roce con las paredes, cambios de dirección u obstáculos que se hallan a su paso.

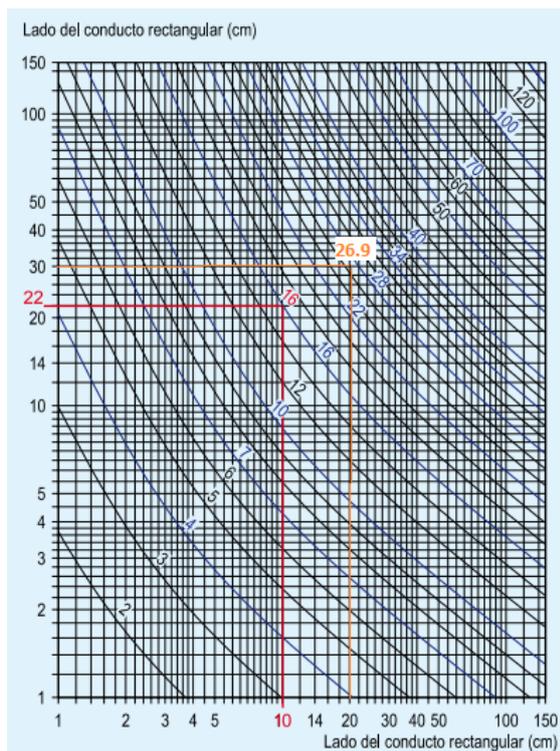
**Tabla 26**  
*Diferenciación ductos de entrada y salida de aire*

Dirección	Material	Color en diagramas
Ducto ventilador-cámara	Acero galvanizado	Naranja
Ducto cámara ventilador	Aluminio	Celeste

La entrada a la cámara de secado tiene un área de 30 mm x30 mm, se diseñó un ducto de 20mm x30 mm, por lo cual se tomarán algunas consideraciones importantes: longitud de conducción, el diámetro hidráulico, velocidad, densidad de aire y

coeficiente de frotamiento, rugosidad de las paredes, dimensiones y disposición de las mismas.

En el caso de un conducto rectangular se posee la tabla de la figura 76 que nos permite obtener el diámetro equivalente que representa las dimensiones de un tubo circular que tiene las pérdidas equivalentes al ducto rectangular diseñado.



**Figura 76 Diagrama de diámetro equivalente a un conducto rectangular**

**FUENTE:** ([http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf))

Se ingresa con la medida en centímetros en la horizontal se entra con la una dimensión, en este caso 20 cm y en la vertical con 30 cm, no existe diferencia alguna en tomar en la horizontal o vertical cualquiera de las dos dimensiones; y se halla el punto de encuentro es la medida del diámetro equivalente, que resulta ser 26.9 cm.

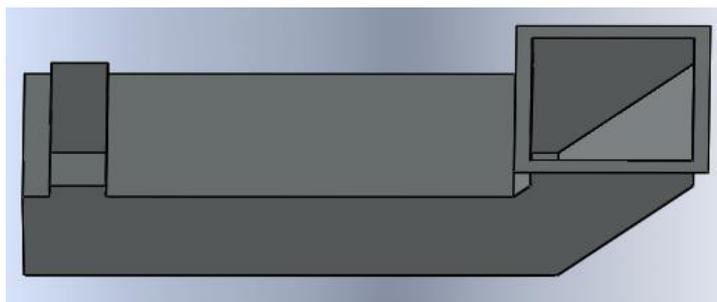


Figura 77 Modelo CAD del ducto con su forma y dimensiones diseñadas

#### 4.7.2.1 Tramo Recto.

Una vez hallado el diámetro, se utiliza el nomograma de con el cual se determinan las pérdidas de carga para el acero galvanizado, con coeficiente de fricción de  $\lambda=0.02$ . (Soler & Palau, 2012)

Dicho material se seleccionó para la elaboración de los ductos de ingreso de aire a la cámara.



Figura 78 Nomograma de Pérdidas de Carga en un Conducto Rectilíneo  
FUENTE: ([http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf))

En la vertical derecha se ubica la medida del diámetro equivalente, en la vertical izquierda el caudal en m<sup>3</sup>/h, y en el punto de encuentro se traza una vertical que permita encontrar el valor de las pérdidas por rozamiento para 1 m de tubería.

De la misma manera que en el caso anterior se realizan los cálculos; la diferencia es que este es un ducto circular, flexible, de aluminio de 2.4 m y un diámetro de 6 pulg (152.4 mm)

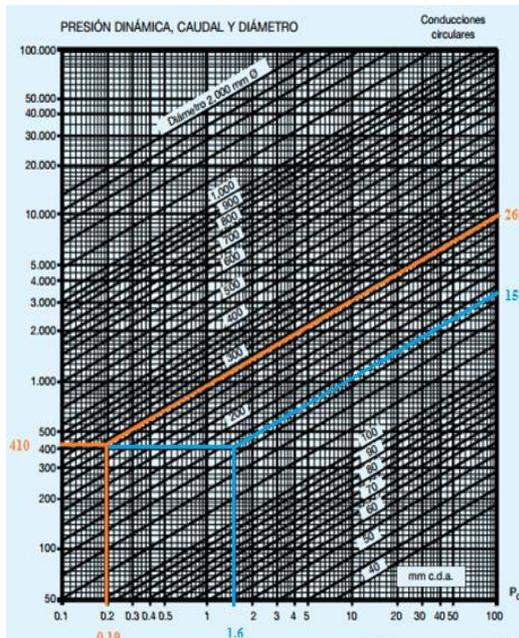
**Tabla 27**  
*Pérdidas en tramo recto y tubería flexible*

Dirección del Ducto	Valor del nomograma (mm c.d.a)	Longitud del tramo (m)	Total pérdida (mm c.d.a)
Entrada	0.025	0.655	0.0164
Salida	0.99	2.4	2.376

#### 4.7.2.2 Pérdidas en accesorios.

Las canalizaciones frecuentemente poseen trayectorias que obligan al uso de codos, desviaciones, entradas, rejillas, entre otros; por lo cual se requiere calcular las pérdidas en cada uno de estos accesorios; en el presente apartado se utilizará el método del coeficiente n.

Para lo cual lo primero que se hace es por medio del diagrama de la figura 79 se obtiene la presión dinámica.



**Figura 79** Diagrama de Presión dinámica, caudal, diámetro

FUENTE: ([http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf))

Esta metodología determina la pérdida de carga de un elemento de conducción en función de la presión dinámica del aire circulante y los coeficientes n de

proporcionalidad, obtenidos experimentalmente; se tiene entonces la fórmula de la ecuación 40.

$$\Delta P = n * Pd \quad \text{Ec. 40}$$

Donde:

$\Delta P$ : pérdidas de carga en accesorios, [mm c.d.a]<sup>19</sup>

$n$ : coeficiente de proporcionalidad experimental

$Pd$ : presión dinámica del fluido que circula, [mm c.d.a]

Ingresando en la vertical izquierda con el caudal de aire, con el diámetro equivalente se extiende la inclinada y en el punto de encuentro se dibuja la vertical que nos permite obtener la presión dinámica.

**Tabla 28**  
*Presión dinámica en los ductos*

Dirección del Ducto	Presión dinámica (mm c.d.a)
Entrada	0.19
Salida	1.6

#### ▪ Ingreso Ventilador Ducto

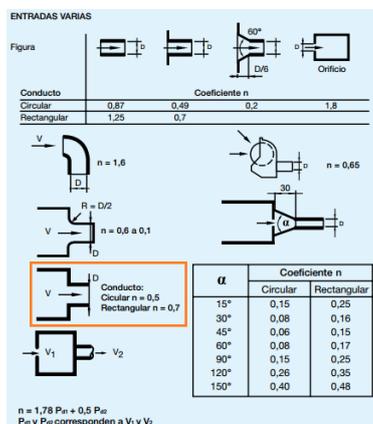


Figura 80 Coeficientes n para diferentes entradas

FUENTE: ([http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf))

<sup>19</sup> (Soler & Palau, 2012)

Para la entrada de aire desde el ventilador hacia la canalización se tiene un coeficiente  $n_1=0.7$

- **Codo de entrada a la cámara**

Se tiene un radio de 8 cm y un diámetro equivalente 29.6, por lo cual la relación con que se ingresa es 0.27

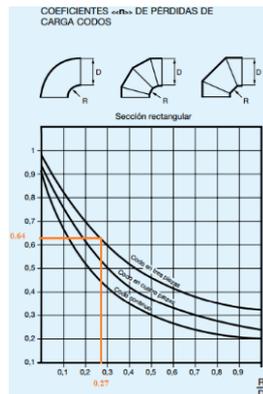


Figura 81 Coeficientes para codos a 90°

FUENTE: ([http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf))

Al haberse diseñado por facilidad de fabricación un ducto en tres partes se entra al diagrama con la relación obtenida y se extiende una vertical hasta la intersección con la curva característica del codo en tres piezas y se obtiene un  $n_2=0.64$

- **Cambio de Sección**

La relación de aumento de diámetro es de 20 a 30 cm; por lo cual el coeficiente requerido en la vertical derecha es de 0.66; en la horizontal se ubica el ángulo de apertura que son 27°.

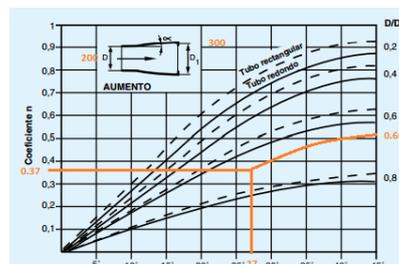


Figura 82 Coeficientes para secciones de aumento

FUENTE: ([http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf))

Se calcula entonces, un coeficiente de fricción de  $n_3=0.37$

**Tabla 29**  
*Coefficientes de corrección por accesorios en ducto entrada*

Accesorio	Coefficiente n
Entrada de ducto	0.7
Codo de 90°	0.64
Ampliación	0.37

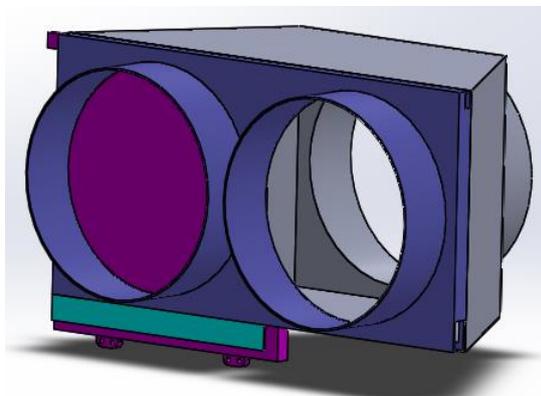
Las pérdidas para el ducto de entrada según la ecuación 40 son:

$$\Delta P_1 = (0.7 + 0.64 + 0.37) * 0.19 \text{ mm c. d. a}$$

$$\Delta P_1 = 0.3249 \text{ mm c. d. a}$$

- **Acople Ducto Ventilador**

**Entrada doble ducto a uno**



**Figura 83 Acople de entrada al ventilador**

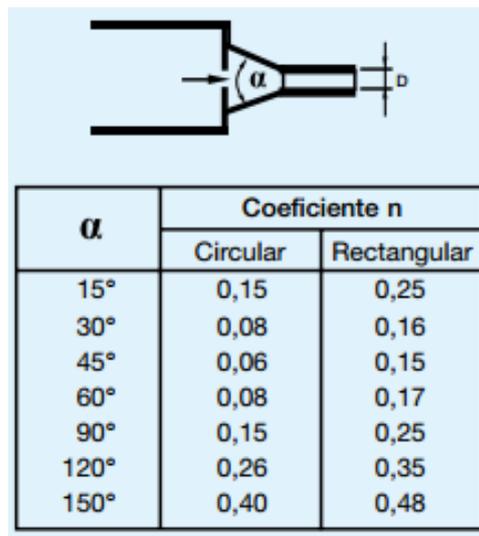


Figura 84 Coeficientes n para diferentes entradas

FUENTE: ([http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf))

Para un ángulo de 120° se tiene en un conducto rectangular un  $n_4=0.35$

### Cuerpos Atravesados en el Ducto

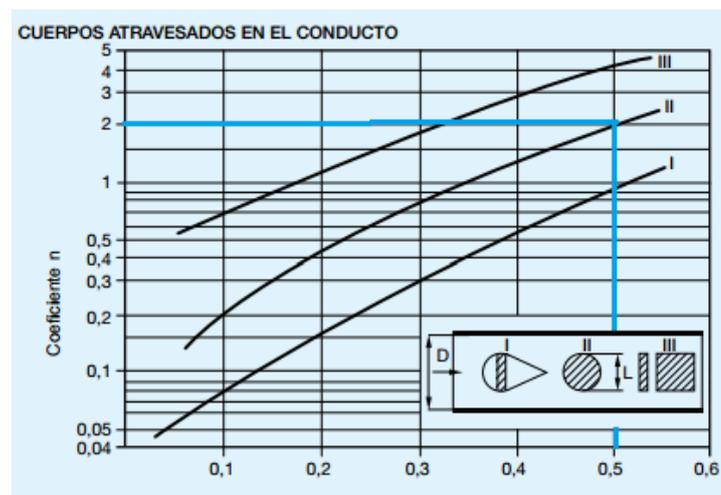
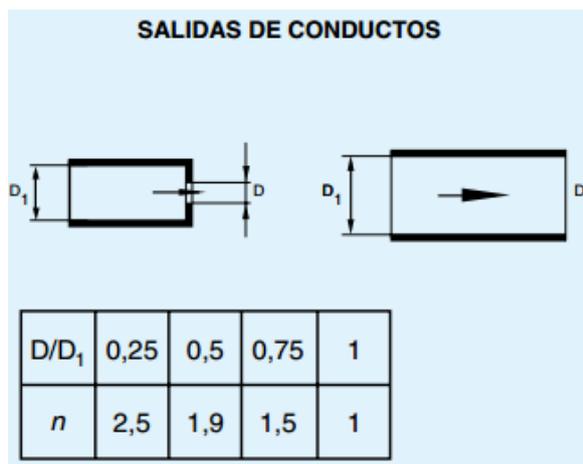


Figura 85 Resistencia por cuerpo atravesado en el ducto

FUENTE: ([http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf))

Debido a la barrera con la cual se detiene el flujo sea de recirculación o de renovación se tiene un porcentaje de abertura del 50%, con lo cual el coeficiente de pérdida es  $n_5=2$

### Acople 2 a 1



**Figura 86 Resistencia por cuerpo atravesado en el ducto**

FUENTE: ([http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf))

Las disminución en la salida del conducto 32 cm a 16 cm genera una relación de 0.5 por lo cual se tiene un  $n_6=1.9$ .

**Tabla 30**  
*Coefficientes de corrección por accesorios en ducto salida*

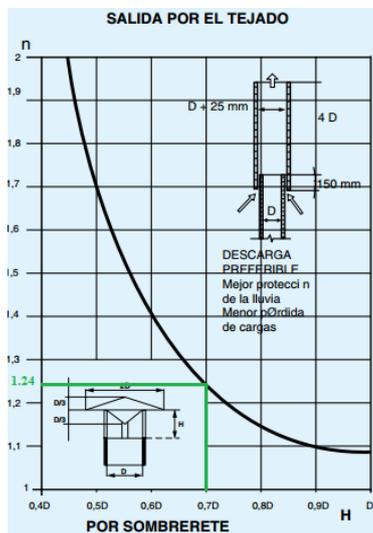
Accesorio	Coefficiente n
Entrada con ángulo 120°	0.35
Barrera de entrada	0.64
Acople 2 a 1	1.9

Las pérdidas para el ducto de salida según la ecuación 40 son:

$$\Delta P_2 = (0.35 + 0.64 + 1.9) * 1.6 \text{ mm c. d. a}$$

$$\Delta P_2 = 4.624 \text{ mm c. d. a}$$

- **Pérdida en chimenea**



**Figura 87 Resistencia por cuerpo atravesado en el ducto**

FUENTE: ([http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf))

El ducto de la chimenea posee un diámetro de 3 pulg (76.2 mm); la velocidad para salida del aire por el ducto es aproximadamente 0.1 m/s, por lo cual el caudal sería  $C_{chim}=0.0076$ , por lo cual no se puede entrar a la tabla, figura 79, de pérdidas dinámicas y se despreciará esta pérdida.

Finalmente el cálculo total de pérdidas supone una suma de sus cantidades tanto en ductos rectos como sus accesorios.

**Tabla 31**  
*Total Pérdidas de Ductos*

Descripción	Valor Obtenido (mm c.d.a.)	Pérdidas de Carga (Pa)
Tramo recto	0.0164	0.16
Accesorios Entrada	0.325	3.18
Ducto Flexible	2.376	23.29
Accesorios Salida	4.624	45.344
<b>TOTAL</b>		<b>71.97</b>

Se tiene una pérdida de 0.071 KPa, lo cual no representa más del 0.07% de la presión ambiente de 93.76 KPa con la que se cuenta en Santo Domingo de los Tsáchilas, resultando ser un sistema de canalización sin pérdidas de carga representativas.

### 4.7.3 Caída de presión en el lecho de granos.

Un lecho está conformado por una columna de partículas sólidas a través de las cuales pasa un fluido líquido o gas, en este caso el aire; específicamente un lecho fijo, ya que las partículas sólidas permanecen estáticas sin separarse una de otras, en esta etapa es donde el fluido experimenta la mayor pérdida de carga. Para el cálculo de la pérdida de presión por efecto del grano en el secador se deben conocer valores de algunas variables, como lo son:

#### 4.7.3.1 Fracción de vacío.

Variable conocida como porosidad, es la razón entre el volumen vacío en la cama y el volumen total de la cama o lecho.

$$E = \frac{V_v}{V_t} \quad \text{Ec. 41}$$

$$E = \frac{V_v}{V_v + V_s}$$

Donde:

$E$ = fracción de vacío<sup>20</sup>

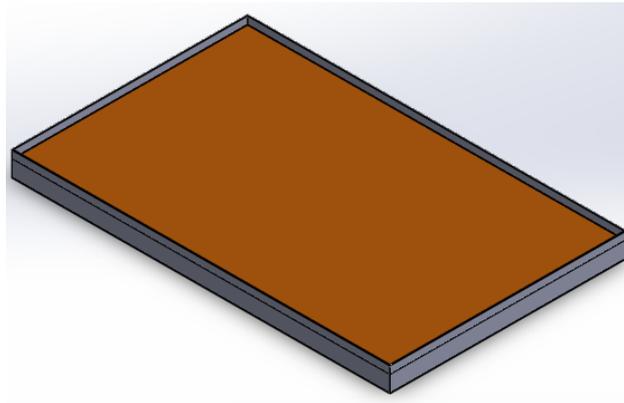
$V_v$ =volumen de vacío, [m<sup>3</sup>]

$V_s$ =volumen de sólido, [m<sup>3</sup>]

Del apartado 4.2.3 se tiene el alto del contenido por bandeja de 36 mm y por diseño se realizó la bandeja de acero inoxidable de una altura de 55 mm.

---

<sup>20</sup> (Fierro, 1990)



**Figura 88** Esquema representativo de diferencias de volúmenes en lecho

$$V_s = m_s / \rho_{cacao} \quad \text{Ec. 42}$$

$$V_s = 0.019 \text{ m}^3$$

Donde:

$V_s$ : volumen de cacao por bandeja, [m<sup>3</sup>]

$m_s$ : masa de cacao por bandeja, 10 [kg]

$\rho_{cacao}$ : Densidad del cacao, 520 [kg/ m<sup>3</sup> ]

$$V_v = a_b \times l_b \times e_v \quad \text{Ec. 43}$$

$$V_v = 0.00856 \text{ m}^3$$

Donde:

$a_b$ : Ancho bandeja, 0.53 [m]

$l_b$ : Largo bandeja, 0.85 [m]

$e_v$ : Espesor del vacío, (0.055-0.036) [m]

Se utiliza la ecuación 41 desglosada, entonces, la fracción del vacío:

$$E = \frac{0.0856}{0.0856 + 0.019}$$

$$E = 0.8183$$

#### 4.7.3.2 Cálculo de la superficie de contacto entre granos.

En este apartado se realizará un cálculo teórico de la superficie que un cacao tiene en contacto con otro modelándolo a través de una forma elíptica que es la más semejante; se tiene:

$$A_s = \pi \times R_m \times r_m \quad \text{Ec. 44}$$

$$A_s = 4.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Donde:

$A_s$ : Área de una cara de una grano de cacao, [m<sup>2</sup>]<sup>21</sup>

$R_m$ : Radio mayor de la elipse, 0.014 [m]

$r_m$ : Radio menor de la elipse, 0.0095 [m]

De la tabla 19 se tiene las dimensiones promedio de un grano de cacao, según el muestreo realizado; el diámetro mayor es de 29.55 mm y el diámetro menor es de 19.40 mm. Para calcular el perímetro de la elipse.

$$P_s = \pi \times \frac{R_m + r_m}{2} \quad \text{Ec. 45}$$

$$P_s = 0.037 \text{ m}$$

Donde:

$P_s$ : Perímetro de un grano de cacao, [m]

$R_m$ : Radio mayor de la elipse, 0.014 [m]

$r_m$ : Radio menor de la elipse, 0.0095 [m]

La superficie total de contacto se determina a partir de estos dos valores:

$$S_p = A_s \times 2 + P_s \times e \quad \text{Ec. 46}$$

$$S_p = 3.95 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

---

<sup>21</sup> <http://math2.org/math/geometry/es-areasvols.htm>

Donde:

$S_p$ : Superficie total del grano, [m<sup>2</sup>]

$A_s$ : Área de una cara de una grano de cacao, 0.000045 [m<sup>2</sup>]

$P_s$ : Perímetro de un grano de cacao, 0.037 [m]

$e$ : Espesor del grano de cacao, 0.00825 [m]<sup>22</sup>

Se tiene el volumen de un grano de cacao:

$$V_g = m_g / \rho_{cacao} \quad \text{Ec. 47}$$

$$V_g = 9.61 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Donde:

$V_g$ : Volumen de un grano de cacao, [m<sup>3</sup>]

$m_g$ : Masa de una grano de cacao, 0.005 [kg]

$\rho_{cacao}$ : Densidad del cacao, 520 [kg/m<sup>3</sup>]

Se determina luego la superficie específica:

$$a_v = S_p / V_g \quad \text{Ec. 48}$$

$$a_v = 41.12 \text{ m}^{-1}$$

Donde:

$a_v$ : Superficie específica, [m<sup>-1</sup>]<sup>23</sup>

$S_p$ : Superficie total del grano, [m<sup>2</sup>]

$V_g$ : Volumen de un grano de cacao, [m<sup>3</sup>]

#### 4.7.3.3 Radio Hidráulico de la Partícula Sólida

Se desea evaluar el radio equivalente de una partícula sólida, para este estudio es el grano de cacao

$$R_{hc} = \frac{E}{a_v(1-E)} \quad \text{Ec. 49}$$

$$R_{hc} = 0.00109 \text{ m}$$

---

<sup>22</sup> (Fierro, 1990)

<sup>23</sup> (Fierro, 1990)

Donde:

$Rhc$ : Radio hidráulico de cacao, [m]

$E$ = fracción de vacío

$av$ : Superficie específica, [m<sup>-1</sup>]

Finalmente se puede calcular la caída de presión de acuerdo al grosor de la capa de alimento que se dispone por bandeja por medio de la primera ecuación de Ergun (lecho fijo):

$$\frac{\Delta P}{h} = \frac{150 \times \mu f \times v_o \times (1-E)^2}{Dp^2 \times E^3} + \frac{1.75 \times \rho f \times v_o^2 \times (1-E)}{Dp \times E^3} \quad \text{Ec. 50}$$

$$\Delta P = 53.53 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 5.46 \text{ mm c. d. a}$$

Donde:

$\Delta P$ : Pérdidas de presión por lecho de cacao, [Pa]<sup>24</sup>

$\mu f$ : Viscosidad del fluido, 0.00001950 [Pa.s]<sup>25</sup>

$v_o$ : Velocidad superficial del fluido, 1.5 [m/s]

$Dp$ : Diámetro de la partícula, 0.0011 [m]

$E$ : Fracción de vacío, 0.82

$\rho f$ : Densidad del fluido, 1.09 [kg/ m<sup>3</sup>]<sup>26</sup>

$h$ : altura del lecho, 0.036 [m]

Se obtiene una pérdida de 0.053 KPa, lo cual no representa más del 0.06% de la presión ambiental, igual que en el apartado 4.5.2, las perdidas por el lecho de cacao son despreciables.

<sup>24</sup> <http://www.monografias.com/trabajos27/lecho-fijo/lecho-fijo.shtml>

<sup>25</sup> [http://www.dedec.net/tiki-read\\_article.php?articleId=14](http://www.dedec.net/tiki-read_article.php?articleId=14)

<sup>26</sup> [http://www.dedec.net/tiki-read\\_article.php?articleId=14](http://www.dedec.net/tiki-read_article.php?articleId=14)

#### 4.7.3.4 Distribución del aire dentro de la cámara de secado

Condiciones del flujo de aire dentro de la cámara de secado, la temperatura dentro de la cámara es de 60 ° C:

$$Q_{TOTAL} = \dot{m}_a \cdot c_p \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 51}$$

$$\dot{m}_a = \frac{Q_{TOTAL}}{c_p \cdot \Delta T}$$

$$\dot{m}_a = 0.116 \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

Donde:

$\dot{m}_a$ : Flujo másico, [kg/s]

$Q_{TOTAL}$ : Calor total, 4.889 [KW]

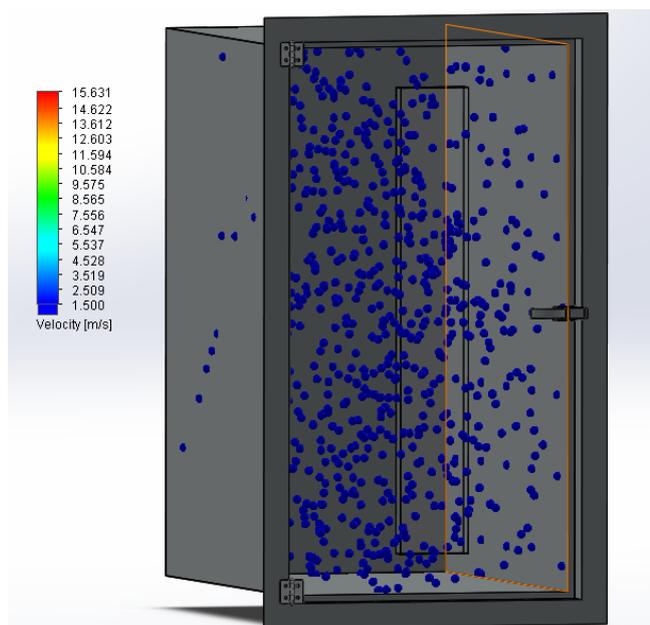
$c_p$ : Calor específico del aire a 60 ° C, 1.007 [KJ/kg]

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura, 35 [K]

Las condiciones del medio ambiente: presión atmosférica en Santo Domingo de los Tsáchilas 93756 Pa, y temperatura ambiente 25 ° C.

SolidWorks FloXpress es una herramienta de análisis cualitativo de flujo, da una idea del comportamiento del flujo de agua o el flujo de aire dentro del modelo de SolidWorks.

En la figura 89 de la simulación en SolidWorks que se realizó se observa que hay una distribución uniforme del aire caliente. Por lo que se tiene la seguridad que a los granos de cacao ubicados en la parte inferior y superior de la cámara les llegara la misma cantidad de aire.



**Figura 89** Distribución de aire dentro de la cámara de secado

#### 4.8 Dimensionamiento de las Resistencias Eléctricas

Una vez calculado el flujo que necesita tener el ventilador en el apartado 4.7.1 y conociendo la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima del proceso, se procede a determinar la potencia requerida por el sistema.



**Figura 90** Banco de Resistencias de alta capacidad térmica  
**FUENTE:** (<http://teii.com.mx/bancos-resistencias.html>)

$$KW_r = \frac{CFM * \Delta T}{2500}$$

*Ec. 52*

$$KW_r = \frac{241.55 \text{ CFM} * (140.14 - 77.077)^\circ F}{2500}$$

$$KW_r = 6.17 \text{ KW}$$

Donde:

$KW_r$ : Potencia requerida por las resistencias, [KW]<sup>27</sup>

$CFM$ : Flujo másico, 241.55 [CFM]

$\Delta T$ : diferencia de temperatura, 63.06 [°F]

Con este valor se solicitó a STSing el diseño para que el juego de resistencias tenga 3 salidas de control, acople directo al ducto de aire y dimensiones que permitan instalarla a la entrada de dicha canalización; por seguridad se sobredimensiona teniendo un factor de seguridad de 1.5

$$KW_{seg} = 1.5 * KW_r$$

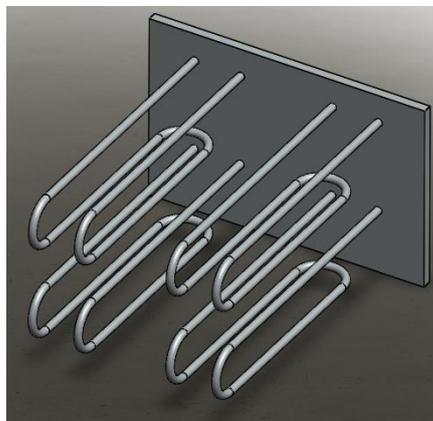
$$KW_{seg} = 9.26 \text{ KW}$$

Donde

$KW_{seg}$ : es la potencia sobredimensionada, [KW]

$KW_r$ : Potencia requerida por las resistencias, 6.17 [KW]

A continuación se presenta el modelo diseñado por el fabricante, a través de herramientas de diseño se construyó las resistencias de manera virtual.



**Figura 91 Modelo CAD de las resistencias eléctricas del sistema**

---

<sup>27</sup> (Vargas & Garzón, 2010)

## 4.9 Diseño Mecánico Estructural

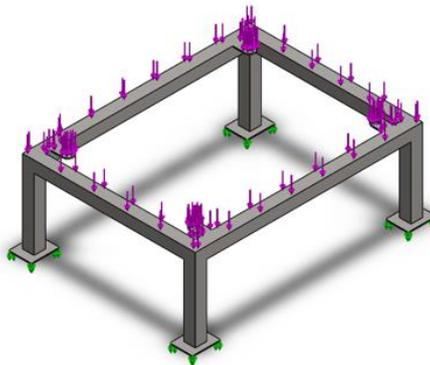
Partiendo de las dimensiones obtenidas en el diseño térmico para cámaras, bandejas y ductos, se ajusta el diseño estructural a estas premisas, considerando las cargas que va a soportar los elementos direccionados a dar soporte y rigidez a la máquina.

- Soporte de la cámara de secado
- Estructura interna de la cámara de secado
- Soporte del gabinete de control
- Soporte de bandeja
- Bandeja

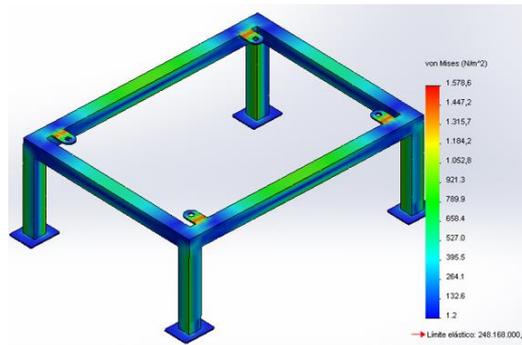
Se realizó simulación de los elementos que conforman la estructura de la máquina secadora de cacao; para realizar el análisis estático para visualizar esfuerzos y deformaciones previstas por medio de software.

### 4.9.1 Soporte de la cámara de secado

Se realiza la virtualización del modelo diseñado para el soporte de la cámara, cabe destacar que se tomó en cuenta una postura ergonómica para el operario para determinar la altura del soporte. Se coloca una carga de 500 kg, las superficies de contacto que conforman las sujeciones están con flechas de color verde y las moradas representan la carga soportada.

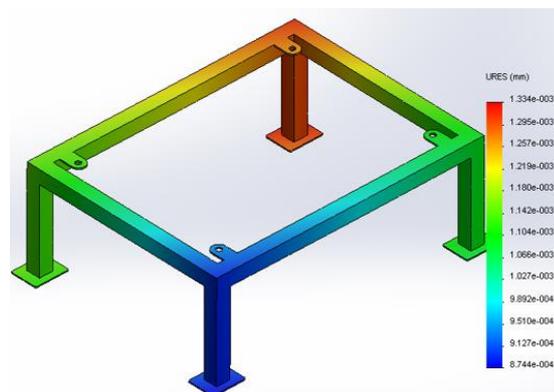


**Figura 92 Soporte de cámara con sujeciones y carga distribuida**



**Figura 93 Esfuerzos resultantes en el soporte de la cámara**

La figura 93 permite visualizar con una alta gama cromática la ubicación de los valores de esfuerzo, se observa que el límite elástico, a partir del cual la estructura sufriría deformaciones permanentes es de 248.17 MPa; mientras el máximo esfuerzo que se observa en color rojo en las patinas de montaje es de 1.58 KPa.

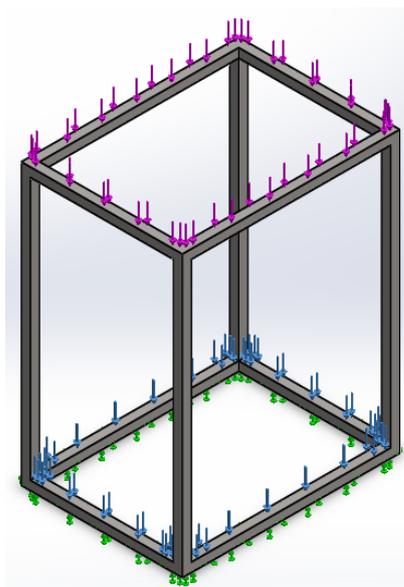


**Figura 94 Desplazamientos resultantes en el soporte de la cámara**

En la figura 94 se observa en la escala que el máximo desplazamiento es de 0.00013 mm, lo cual encaja en un marco de tolerancias permitidas.

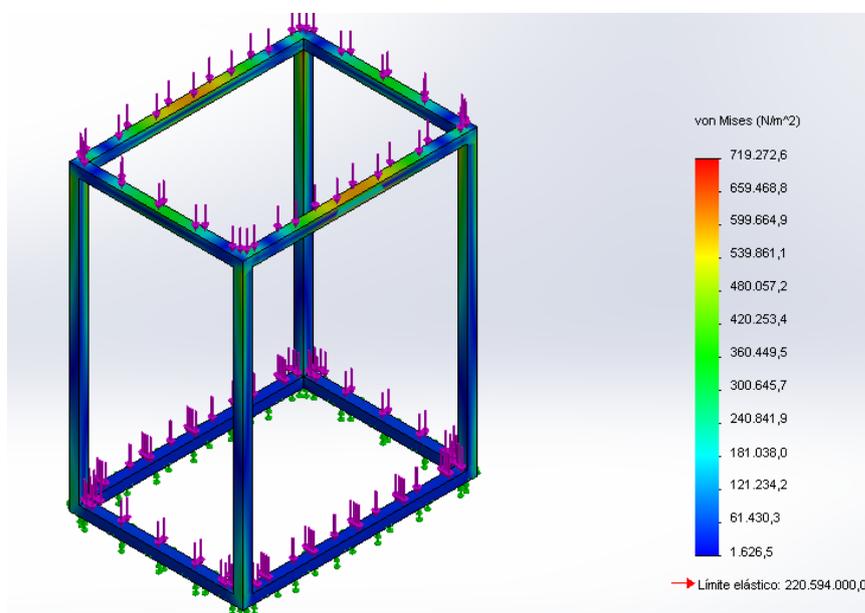
#### **4.9.2 Estructura Interna de la cámara.**

Esta estructura es el esqueleto de la cámara de secado, es de suma importancia ya que la misma soporta el peso tanto de las láminas internas y externas de chapa metálica, el peso del ventilador, sistemas de acople y de manera lateral apoyo de los ductos de impulsión de aire.



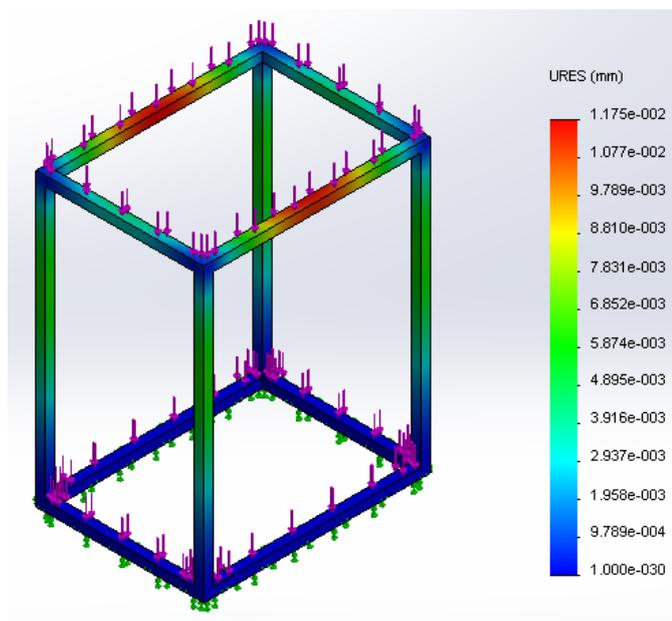
**Figura 95** Asignación de fijaciones y cargas en la estructura de la cámara interna

Se consideró la carga que la estructura soporta por efecto de las láminas internas, externas y el conformado en su totalidad por el peso representado en las flechas celestes, en las de color morado está una aproximación del peso que representa el ventilador y elementos accesorios.



**Figura 96** Esfuerzos resultantes en la estructura interna de la cámara

El límite elástico tiene un valor de 220.6 MPa, el nodo de esfuerzo más alto alcanzado mediante el análisis de elementos finitos es de 719.27 KPa, obteniendo un factor de seguridad de 306; lo cual asegura el diseño.

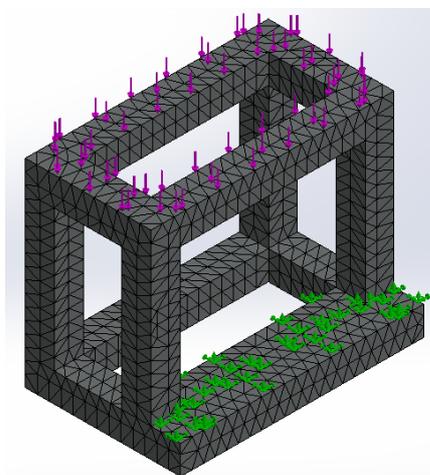


**Figura 97 Desplazamientos resultantes de la estructura interna de la cámara**

El desplazamiento se observa dentro del margen admisible ya que en sus puntos críticos llega a desplazarse una longitud de 0.012 mm.

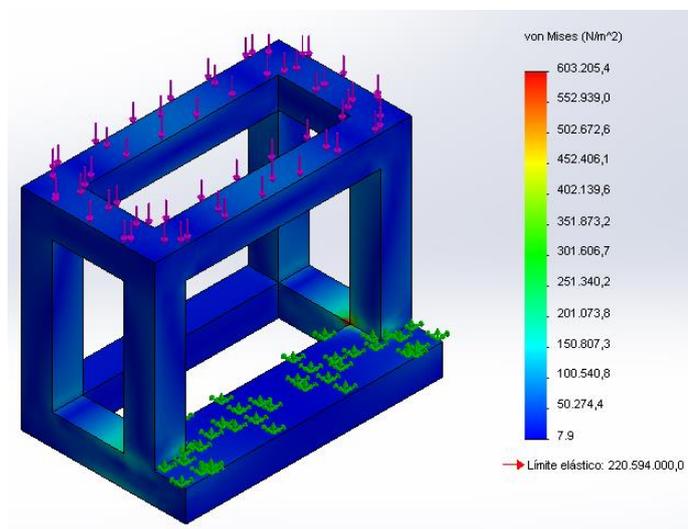
#### **4.9.3 Soporte del gabinete de control.**

Esta sección estructural se encarga solamente del soporte del peso de la caja de control que aproximadamente pesa 20 kg. En la figura 98 se observa el mallado de elementos finitos que realiza el software, la distribución de la carga del tablero en las flechas moradas y la soldadura que es su medio de sujeción.

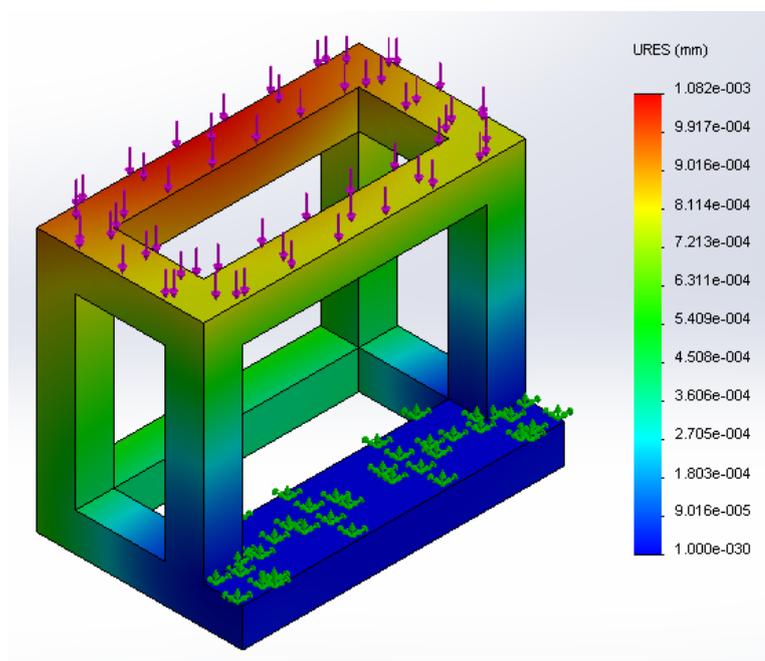


**Figura 98 Vista de mallado de elementos finitos, sujeciones y cargas del soporte del control**

A continuación se visualiza que la mayor parte del soporte tiene una tonalidad azul, quiere decir que los esfuerzos que predominan en el modelo son insignificantes frente a su punto elástico situado en 220 MPa.



**Figura 99 Esfuerzos resultantes del soporte del control**



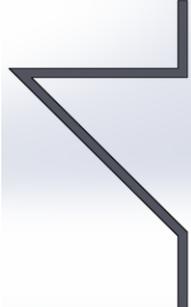
**Figura 100 Desplazamientos resultantes del soporte del control**

El desplazamiento es en el orden de los micrómetros, lo cual es tolerable y aconsejable en el diseño.

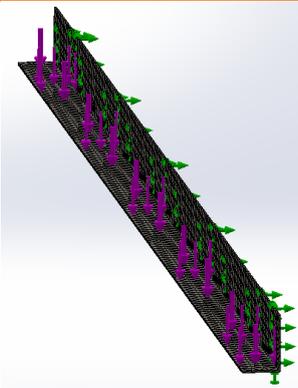
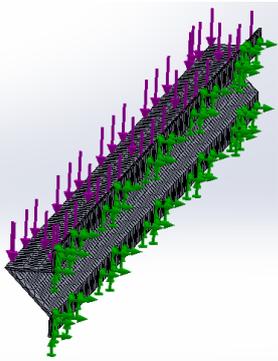
#### 4.9.4 Soporte de bandejas.

En el presente apartado se seleccionará la geometría óptima para el soporte del peso de las bandejas del sistema. Se realizará un estudio correlacional mediante el software de simulación.

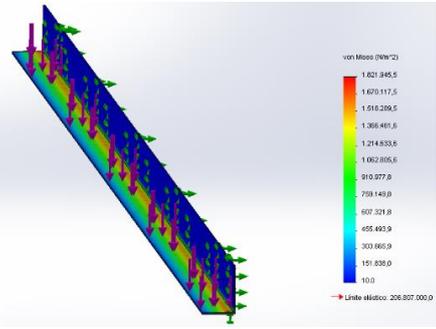
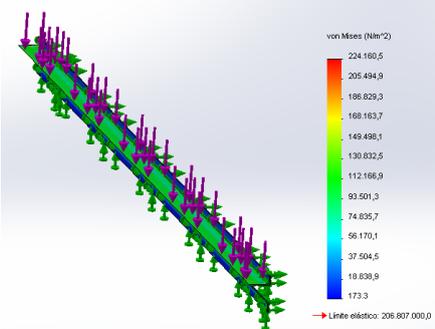
**Tabla 32**  
*Comparación propiedades perfiles de soporte*

Tipo perfil	Perfil L	Perfil en Triángulo
Forma		
Masa	46.85 gr	66.70 gr
Superficie	80117.12 mm <sup>2</sup>	113261.60 mm <sup>2</sup>

**Tabla 33**  
*Información de carga en los perfiles*

Tipo perfil	Perfil L	Perfil en Triángulo
Carga	70 N (5 kg cacao + 2.13 kg bandeja)	70 N (5 kg cacao + 2.13 kg bandeja)
Análisis elementos finitos, apoyos fijos y carga		

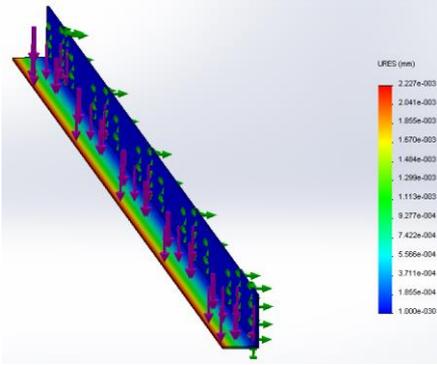
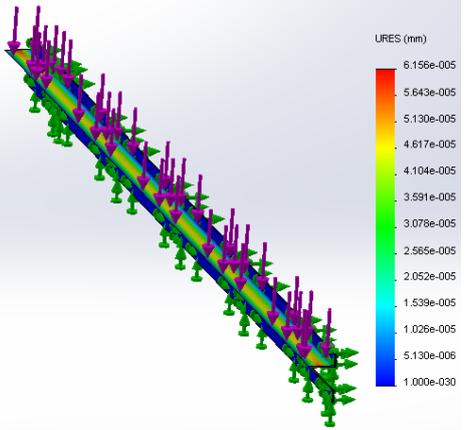
**Tabla 34**  
**Análisis de Esfuerzos (Von Mises) para soporte bandeja**

Tipo perfil	Perfil L	Perfil en Triángulo
<b>Esfuerzos Von Mises</b>		
<b>Límite Elástico</b>	206.81 MPa	
<b>Esfuerzo máximo alcanzado</b>	1821.945 KPa	224.16 KPa
<b>Factor de seguridad</b>	113.51	922.6

El límite elástico depende directamente del material del que está construido el elemento; al ser el perfil un elemento netamente de Acero Inoxidable AISI 304 adecuado para el trabajo con alimentos, se tiene un mismo valor para este límite en los dos perfiles.

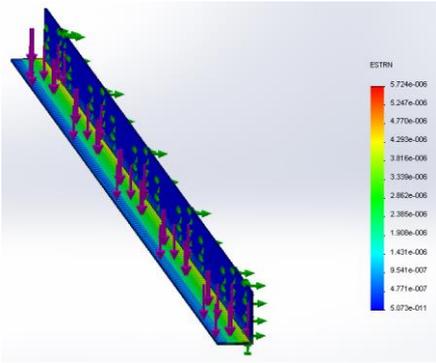
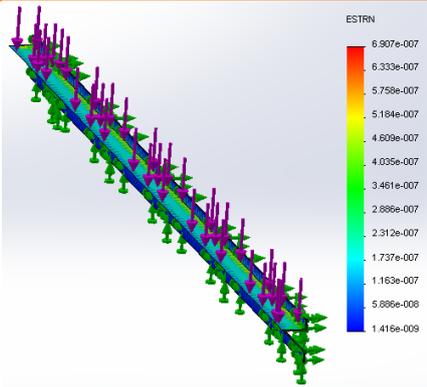
Como se observa en la tabla 34 los esfuerzos en el perfil en L son mayoritariamente bajos (azul); pero en los nodos donde se alcanza el esfuerzo máximo, en comparación con el perfil en triángulo es de 8 a 1; por lo tanto este segundo perfil soporta menos esfuerzos y nos permitiría prolongar la vida útil del elemento.

**Tabla 35**  
*Análisis de Desplazamientos para soporte bandeja*

Tipo perfil	Perfil L	Perfil en Triángulo
<b>Desp.</b>		
<b>Desp. máximo</b>	$2.23 \times 10^{-3} \text{ mm}$	$6.15 \times 10^{-5} \text{ mm}$

Se observa un desplazamiento menor en el perfil en triángulo, se tiene una relación de 36:1.

**Tabla 36**  
*Análisis de Deformación Unitaria para soporte bandeja*

Tipo perfil	Perfil L	Perfil en Triángulo
<b>Def. Unitaria</b>		
<b>Def. Unitaria Máxima</b>	$5.72 \times 10^{-3}$	$6.91 \times 10^{-7}$

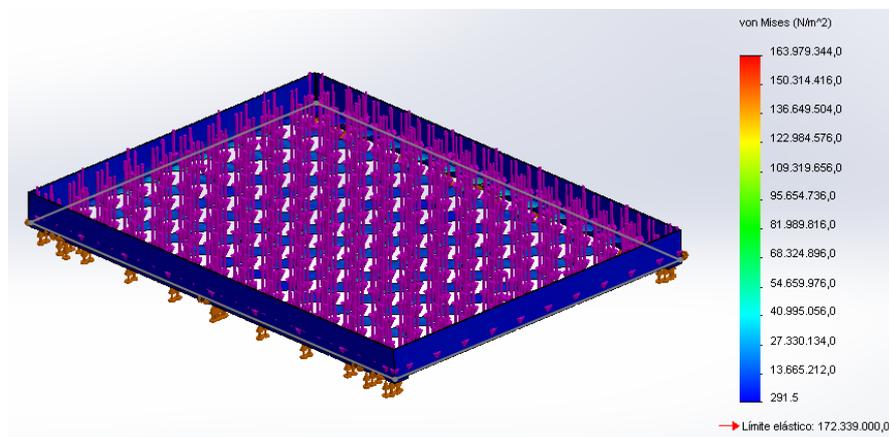
Deformación Unitaria se define como el cambio de longitud por unidad de longitud; expresa entonces una tasa de deformación que ocurre en los diferentes nodos

de la estructura, en este caso la relación se da 8277:1, resultando favorable este factor también para el perfil en triángulo.

Se concluye que para la una misma carga en los perfiles cuya superficie de contacto con la bandeja es la misma, el perfil en triángulo a pesar de tener un menor contacto con la superficie fija tiene un área más grande para distribuir sus esfuerzos, razón por la cual en los tres puntos de análisis de las tablas 34, 35 y 36 se observa que un diseño óptimo a nivel comparativo lo representa esta opción.

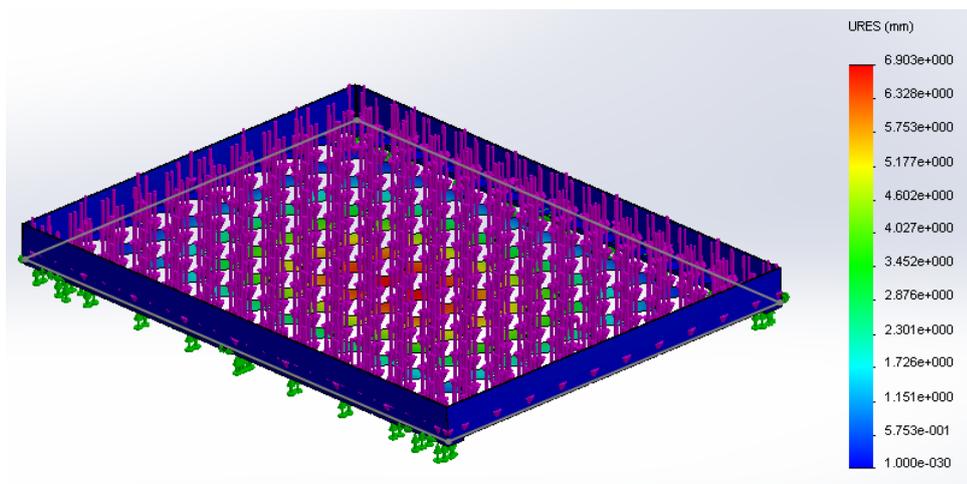
#### 4.9.5 Bandejas.

Para realizar el estudio estático de las bandejas se ha agregado una carga de 10 kg, que es la masa del alimento que esta soportará.



**Figura 101 Esfuerzos de la bandeja**

En este caso el factor de seguridad que se obtiene al dividir entre el límite elástico y el esfuerzo máximo es de 1,05; cabe mencionar que el diseño se ha dirigido a darme el menor peso sin que se sacrifique su rigidez.



**Figura 102 Desplazamientos de la bandeja**

Con el uso y desgaste se prevé un desplazamiento no elástico, mas no plástico, ya que necesitan cierto nivel de flexibilidad para su fácil manejo.

#### **4.10 Diseño del Sistema Eléctrico**

El sistema eléctrico es la parte del equipo que alimenta y maneja elementos de control y los de lógica cableada; controlador de temperatura, así como la parte de potencia que involucra el accionamiento de las resistencias eléctricas y el motor del ventilador centrífugo; para el correcto funcionamiento del sistema de secado de granos. Razón por la que constituye una parte fundamental para la implementación y puesta en marcha del equipo y el proceso que lleva a cabo.

Por tal motivo se requiere hacer uso de elementos con sus respectivas protecciones y un correcto dimensionado que evite fallos o accidentes.

Las funciones que tiene el sistema eléctrico son las de transmitir señales entre equipos, protegerlos en caso de sobrecargas, cortocircuitos, entre otros; alimentar a los actuadores eléctricos por medio de un circuito de potencia y permitir visualizar los estados de los mismos mediante luces piloto y elementos electrónicos mediante circuitos de control.

#### 4.10.1 Breaker o Interruptor termomagnético.

Dispositivo de protección que tiene dos tipos de acción; la acción térmica hace que se accione un resorte interior para abrir el circuito en caso de que se produzca un calentamiento en una placa bimetálica interior por el efecto Joule a razón de una sobrecorriente dependiendo del valor de tolerancia preestablecido por el fabricante La acción magnética responde ante un cortocircuito, una elevada corriente circula por un electroimán interno provocando el disparo del resorte que abre el circuito.

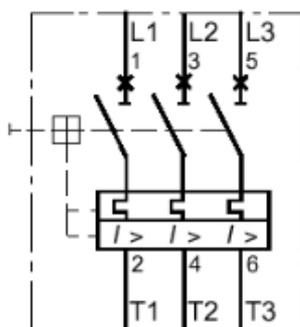


Figura 103 Símbolo del Interruptor Magnetotérmico

FUENTE:

(<http://www.upnfm.edu.hn/bibliod/images/stories/xxtindustrial/libros%20de%20electricidad/Control%20Electromecanicos/CONTACTORES%20Y%20ACTUADORES.pdf>)

Basándose en el circuito, la corriente nominal que circula por el mismo se puede seleccionar el número de polos o contactos que posee el breaker, dependiendo del número de fases; así se tiene una sola fase se requiere un polo, fase- neutro o dos fases (2 polos), trifásico (3polos).



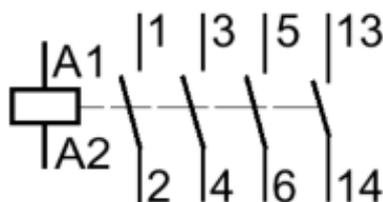
Figura 104 Interruptores Magnetotérmicos 3 polos, 2 polos y 1 polo

FUENTE: (<http://www.prodinc.com.mx/productos/equipo%20iec/catalogoiec2010.pdf>)

El dimensionamiento del mismo se hace a través del cálculo de la potencia que consume el circuito de control y el circuito de carga; en el caso de las resistencias es de 9.26 KW y el motor del ventilador (1/2 hp) 0.37 KW, resultando 9.63 KW; al trabajar con un voltaje de 220 V, en el siguiente apartado se detallan con consumos de corriente de los elementos del circuito de control y de potencia.

#### 4.10.2 Contactor

Interruptor accionado por medio de un electroimán. Posee tres parte fundamentales que son los contactos de potencia alimentan el circuito de potencia; contactos auxiliares para el control y toleran una menor corriente que los anteriores y la bobina que acciona los contactos de potencia y auxiliares. Generalmente el contactor tiene 3 polos para conexiones trifásicas.



**Figura 105 Símbolo del Interruptor Magnetotérmico FUENTE:**  
(<http://www.upnfm.edu.hn/bibliod/images/stories/xxtindustrial/libros%20de%20electricidad/Controles%20Electromecanicos/CONTACTORES%20Y%20ACTUADORES.pdf>)

Para su selección se debe tomar en cuenta el tipo de corriente a usarse que en este caso es continua y de 220 V a 60 Hz, número de contactos auxiliares que requiere, ruido admisible, la potencia nominal de carga.

El contactor principal soporta todas las cargas del sistema, para dimensionarlo se toma en cuenta el valor comercial más cercano al del breaker; por tanto es de 65 A. Para cada una de las cargas se ubica un contactor a modo de protección en el circuito de potencia.

**Tabla 37**  
*Consumo de corriente en el circuito de control*

Carga	Cantidad	Corriente de la carga	Carga Total
Luces Piloto	5	0.028 A	0.14 A
Control de Temperatura	1	0.228 A	0.228 A
Horómetro	1	0.045 A	0.045 A
Contactador	4	0.09 A	0.36 A
<b>TOTAL</b>			<b>0.773</b>

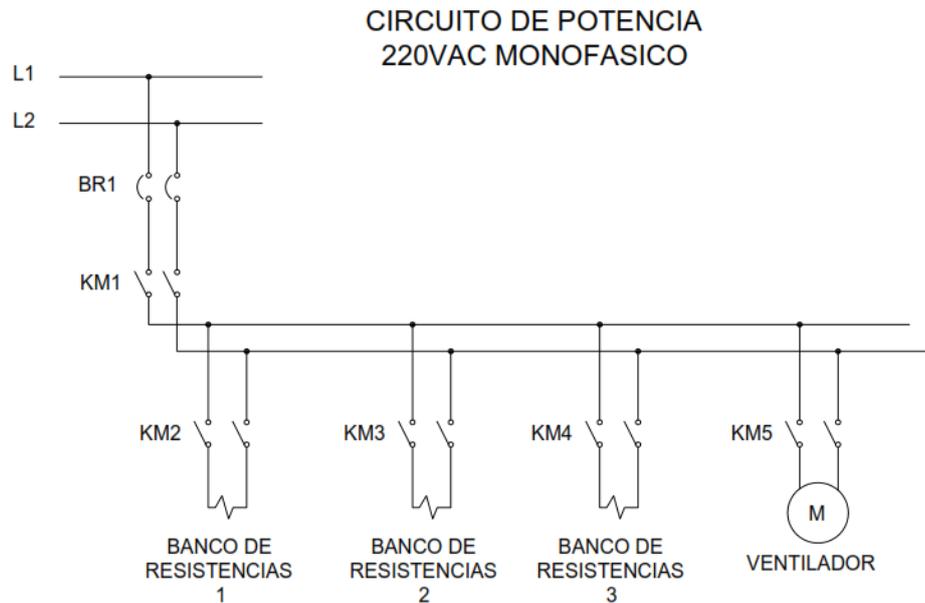
**Tabla 38**  
*Consumo de corriente en cada carga*

Carga	Potencia Aproximada	Corriente de la carga	Multiplicada por factor de seguridad 1.2
Banco Resistencias 1	2500 W	11.36 A	13.63 A
Banco Resistencias 2	2500 W	11.36 A	13.63 A
Banco Resistencias 3	5000 W	22.73 A	27.27 A
Motor Ventilador	370 W	1.68 A	2.018 A
<b>TOTAL</b>			<b>56.56 A</b>



**Figura 106** Contactador Schneider 9A, 3P

FUENTE: (<https://www.plcmarkt.com/tiendav/111-235-thickbox/contactador-3-polos-9a-tension-de-bobina-24vac.jpg>)



#### 4.11 Diseño del Sistema de Control

Un sistema de control es un conjunto de componentes que puede regular su funcionamiento o el de otro sistema con el fin de obtener un proceso predeterminado, reduciendo fallos y obteniendo valores de variables deseadas; emplea diferentes métodos para la manipulación de magnitudes de un subsistema denominado planta para obtener los parámetros que se busca.

Se debe considerar definiciones de los elementos que conforman un sistema de control desde el punto de vista funcional; por lo que se definirán algunos conceptos básicos:

- **Planta.** El proceso que se desea controlar o supervisar, y está destinada a realizar una operación determinada; en este caso es el secador de cacao.
- **Sistema de Control.** Es el responsable de actuar sobre el comportamiento del proceso.
- **Operador.** Encargado de dar las consignas.

- **Variable de Entrada o Consigna.** Indica lo que debe realizar el sistema, puede llevara a cabo por medio de accionamientos manuales, electrónicos o mecánicos. Para el secador la variable de entrada se la toma como el encendido del sistema.
- **Variable de Salida.** Es el resultado del proceso que realiza el sistema, puede ser monitoreado.
- **Perturbaciones.** Son variables aleatorias que pueden influir en el funcionamiento del sistema pero que no pueden ser eliminadas, como por ejemplo vibraciones, ruido electromagnético, etc.
- **Variables de control.** Son variables internas del sistema que se utilizan para ajustar los parámetros a los buscados.

El diseño del sistema de control debe contemplar las condiciones de ambientales de operación, condiciones de robustez necesarias, la posibilidad de manejo de parámetros inmersos en el proceso y topologías.

Existen dos tipos de sistemas de control; los de lazo abierto, en cuyo caso la variable de salida del sistema no tiene efecto sobre la acción de control siguiente; los de lazo cerrado cuya salida repercute directamente sobre la acción de control.

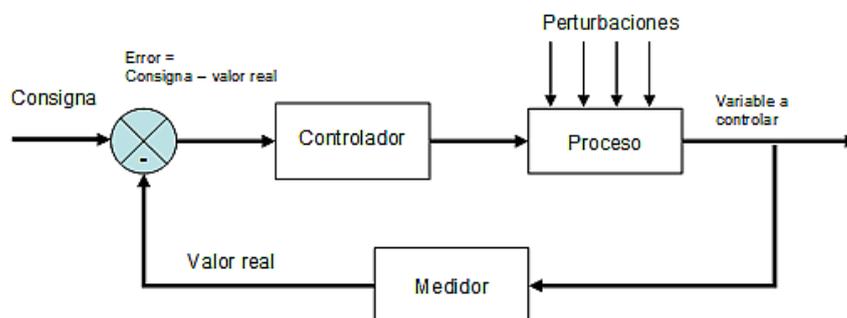


Figura 108 Diagrama de un sistema de control en lazo cerrado

FUENTE: ([http://www.infoagro.com/riegos/control\\_riego\\_y\\_fertilizacion.htm](http://www.infoagro.com/riegos/control_riego_y_fertilizacion.htm))

Como se observa en el diagrama del sistema de control en lazo cerrado, existe una realimentación a través de sensores (medidores) desde la planta (proceso) hasta el sistema de control (controlador).

Esta topología es la más usada en la industria que requiere cumplir con parámetros de calidad, ya que la información sobre la variable controlada se vuelve a alimentar como base para controlar una variable del proceso, que en el caso de la máquina implementada podría ser la temperatura.

#### 4.11.1 Controlador Digital

Son elementos de control que poseen aplicaciones específicas. Acorde a la disponibilidad en el mercado nacional se encontró un controlador de humedad y temperatura para aplicaciones de deshumidificadores, secado de granos y sistemas de climatización.



Figura 109 Controlador e Indicador Digital de Temperatura y Humedad FullGauge MT-530

FUENTE: (<http://www.fullgauge.com/es/manual-del-producto-40>)

Tabla 39  
Especificaciones técnicas del controlador MT-530 super

Especificación	Valor	Unidad
Alimentación Directa	115 ó 230 ± 10%	Vac
Temperatura de Control	-10 a 70 ± 1.5	°C
Humedad de Control	10 a 85%	HR
Corriente máxima salida	3	A
Temperatura de Operación	0 a 50	°C
Humedad de Operación	10 a 85%	HR
Dimensiones	71x28x71	mm

Los sensores de temperatura y humedad se ensamblan en un único bulbo que disminuye la cantidad de cableado requerido.

#### **4.11.2 Controlador Lógico Programable (PLC)**

Es un conjunto de elementos industriales que constituyen un equipo electrónico a través del cual pueden controlarse a tiempo real procesos secuenciales para aplicaciones industriales de muy diversos tipos; es el elemento al que llega y controla la información y después distribuye las señales a los actuadores para que ejecuten órdenes de realización. (Roldán, 2002)

##### Características de un PLC

- Mayor nivel de automatismo y control, simplicidad en los procesos.
- Facilitar las tareas del operario.
- Reducir el volumen de las instalaciones de control.

Para elegir un autómata programable, como también se lo denomina se debe considerar:

- Necesidades a cubrir en función al volumen de la instalación.
- Prestaciones del autómata.
- Precio y calidad del producto.
- Disponibilidad.

Dado que se va a manejar 4 cargas, el requerimiento principal del PLC es que tenga como mínimo 4 salidas, las entradas de control son las señales que vienen del controlador y la de pulsadores que permitan un mando manual del proceso.

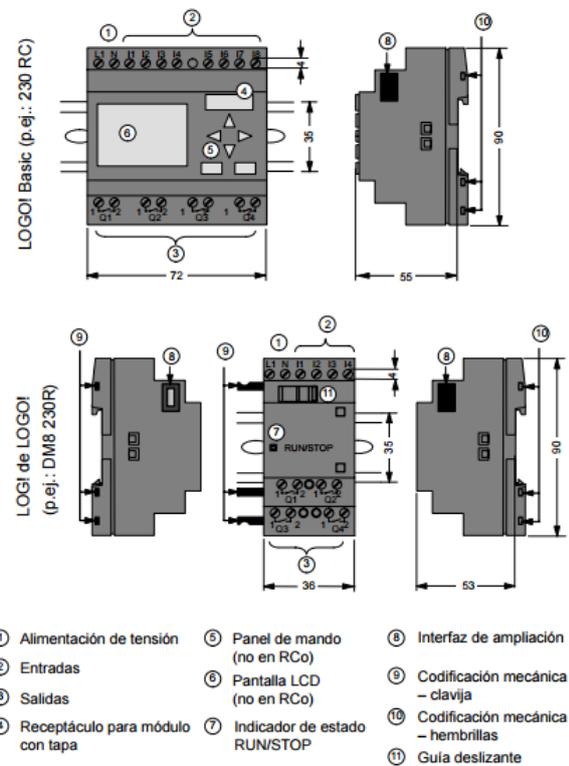


Figura 110 Estructura y Explicación de Partes de un PLC Siemens Logo 230-RC

FUENTE:

([https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82567/v1/Logo\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf))

**Cuadro 1**

*Características de PLC Logo Siemens*

Símbolo	Designación	Alimentación	Entradas	Salidas	Características
	LOGO! 12/24RC	12/24 V CC	8 digitales <sup>(1)</sup>	4 relés de 10A	
	LOGO! 24	24 V c.c.	8 digitales <sup>(1)</sup>	4 transistores 24V / 0,3A	Sin reloj
	LOGO! 24RC <sup>(3)</sup>	24 V AC / 24 V DC	8 digitales	4 relés de 10A	
	LOGO! 230RC <sup>(2)</sup>	115...240 V CA/CC	8 digitales	4 relés de 10A	
	LOGO! 12/24RCo	12/24 V CC	8 digitales <sup>(1)</sup>	4 relés de 10A	Sin display Sin teclado
	LOGO! 24o	24 V DC	8 digitales <sup>(1)</sup>	4 transistores 24V / 0,3A	Sin display Sin teclado Sin reloj
	LOGO! 24RCo <sup>(3)</sup>	24 V AC / 24 V DC	8 digitales	4 relés de 10A	Sin display Sin teclado
	LOGO! 230RCo <sup>(2)</sup>	115...240 V CA/CC	8 digitales	4 relés de 10A	Sin display Sin teclado

FUENTE:

([https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82567/v1/Logo\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf))

### 4.11.3 Horómetro

Dispositivo utilizado para el registro y visualización el número de horas en que un motor que un equipo eléctrico o mecánico ha funcionado desde la última vez que se ha inicializado el dispositivo.



Figura 111 Horómetro LEZN

FUENTE: (<http://www.calvoselectronica.com/horometros/269-horametro-8-dagitos-bateriaa-interna-24x48mm-le8nbf.html>)

Tabla 40  
*Especificaciones Técnicas del Horómetro*

Características	Valor
Display	8 dígitos LCD
Rango	9999 h 59 m 59 s
Reset	Frontal y remoto
Entrada de Inicio	6-240 Vdc, 24-240 Vac
Alimentación	Batería Interna de Litio
Grado de Protección	IP66

### 4.11.4 Selector

Dispositivo que tiene dos posiciones para seleccionar el modo de operación, sea este manual o automático. En el primer modo se activa la posibilidad de prender o apagar las resistencias y el motor del ventilador a través de los pulsadores de mando, mientras que el segundo modo trabaja bajo el programa que recibe la señal del sensor y los actuadores operan bajo la activación de salidas del PLC.



**Figura 112** Selector de 2 posiciones para mando manual o automático

**FUENTE:**

([http://i00.i.aliimg.com/photo/v0/542719354/2\\_or\\_3\\_position\\_selector\\_switch\\_rotary.jpg](http://i00.i.aliimg.com/photo/v0/542719354/2_or_3_position_selector_switch_rotary.jpg))

#### 4.11.5 Pulsadores

Accionamientos mecánicos que permiten cambiar de estado la apertura o cierre de un circuito.



**Figura 113** Apariencia de distintos pulsadores

**FUENTE:**

(<http://www.upnfm.edu.hn/bibliod/images/stories/xxtindustrial/libros%20de%20electricidad/Controles%20Electromecanicos/CONTACTORES%20Y%20ACTUADORES.pdf>)

#### 4.11.6 Luces Piloto

Se conectan a los bornes auxiliares de los contactores para poder visualizar de manera luminosa el encendido o apagado, tanto del sistema como el de sus actuadores, en este caso los tres juegos de resistencias y el ventilador.



**Figura 114 Luces Piloto verde y roja**

**FUENTE:** ([http://mlv-s1-p.mlstatic.com/lampara-piloto-luz-led-16m-12vdc-carro-moto-tablero-cabudare-20385-MLV20189374135\\_112014-O.jpg](http://mlv-s1-p.mlstatic.com/lampara-piloto-luz-led-16m-12vdc-carro-moto-tablero-cabudare-20385-MLV20189374135_112014-O.jpg))

#### 4.11.7 Relé

Es un dispositivo que posee una bobina de control, la activación de la misma permite el paso de corriente en sus bornes de potencia. Para realizar la activación y desactivación manual de los pulsadores del tablero se requirió utilizar un relé por actuador.



**Figura 115 Distintos relés**

**FUENTE:** ([http://www.rele.it/img/main\\_photo.jpg](http://www.rele.it/img/main_photo.jpg))

#### 4.11.8 Manómetro

Dispositivo que sirve para medir la presión, no es un elemento eléctrico, sin embargo es parte del sistema de control en lazo abierto, ya que solo se encuentra como indicador de la presión interna de la cámara de secado.

Se seleccionó el instrumento de menor rango (0-15 psi), con la finalidad de observar los cambios de presión que pudieran tener lugar en la cámara de secado.



**Figura 116 Manómetro Winters PFP**

FUENTE: ([http://www.winters.com/PDF/wintfullprodcatt\\_web\\_sp.pdf](http://www.winters.com/PDF/wintfullprodcatt_web_sp.pdf))

Además tiene un dial de 2.5 pulg (6.4 mm) y vástago tiene un canal de ¼ pulg (6.35 mm).

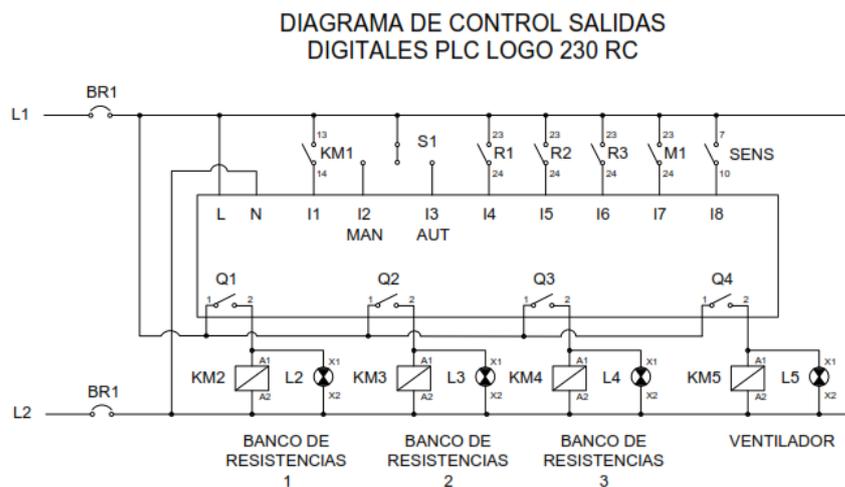
#### **4.11.9 Válvula de Bola**

Con el fin de poder dar mantenimiento o cambio del manómetro se requiere una válvula de bola que restrinja el paso de aire desde la cámara al exterior si no se encuentra el manómetro.



**Figura 117 Válvula de bola**





**Figura 119 Diagrama de control de salidas Logo 230-RC**

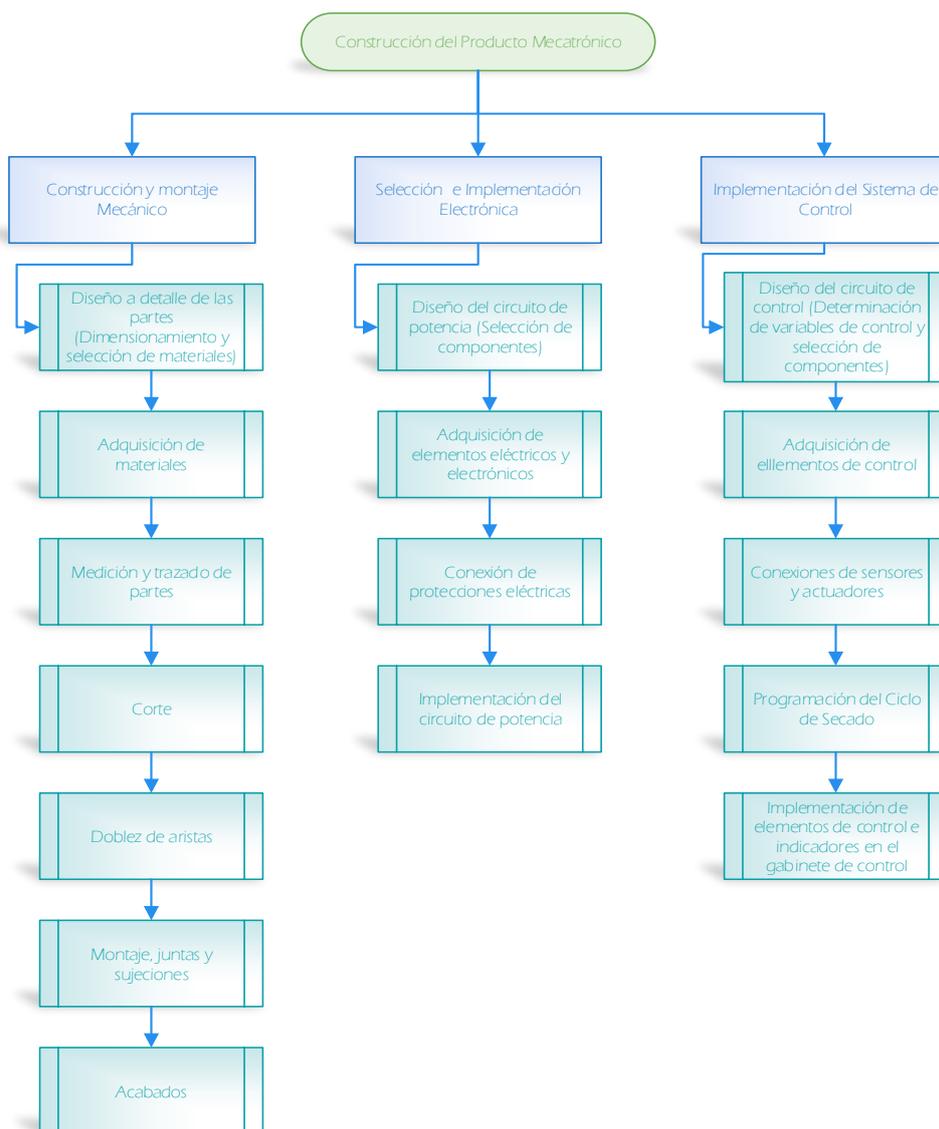
KM1 da la señal de inicio del sistema al horómetro, a las salidas los contactos auxiliares de los contactores encenderán las luces piloto cuando se active según la lógica de programación las salidas del PLC.

En el apartado 5.4 del capítulo 5 se detallará las variables de entrada y salida del PLC.

## CAPITULO V

### CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN

El proceso de construcción del producto mecatrónico requiere del desarrollo de subprocesos de las tres partes sinérgicas que componen las competencias de un sistema de dicha naturaleza.



**Figura 120 Diagrama de flujo del proceso constructivo del producto mecatrónico**

#### 5.1 Construcción e Implementación del Sistema Mecánico

Tras el diseño que figura en el capítulo 4 se realiza la construcción e implementación. Los materiales se han definido mediante características como

resistencia a los esfuerzos, trabajo con sustancias alimenticias y condiciones ambientales como son los rangos de temperatura, humedad, etc. La ejecución de los trabajos de construcción y montaje mecánico se contrató los servicios de STSing de la ciudad de Quito.

El sistema consta de diferentes subsistemas que son la cámara de secado y el acondicionamiento de aire; para lo cual se tomó en cuenta herramientas del diseño concurrente como lo son la ergonomía, brindar facilidad para la fabricación y el montaje.

### 5.1.1 Soporte de la cámara de secado.

#### 5.1.1.1 Elaboración de la estructura de soporte.



Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas			
			Eje x-x' = y-y'			
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,74
	2,00	1,34	1,05	0,69	0,69	0,72
50	1,50	2,85	2,24	12,56	4,92	2,01
	2,00	3,74	2,93	14,13	5,65	1,94
	3,00	5,41	4,25	19,40	7,76	1,89

**Figura 121 Selección del tubo estructural para el soporte y armazón de la cámara de secado.**

**FUENTE:** ([http://www.ipac-acero.com/assets/img/upload/big/CatalogoIPAC\\_11.pdf](http://www.ipac-acero.com/assets/img/upload/big/CatalogoIPAC_11.pdf))

Se seleccionó el tubo negro (A 366) de 2 pulgadas y espesor de 3 mm. Con una puntilla se marcan las dimensiones requeridas previamente medidas, para las secciones de laterales, frontal, posterior y las patas del soporte. El tubo que tiene 6 m de largo y se procede a realizar el corte de dichos componentes; finalmente se los junta de manera permanente mediante solda.



**Figura 122 Estructura de soporte soldada**

La soldadura es por arco manual con electrodo revestido. El calor que produce el arco hace que el extremo del electrodo se funda y se queme el recubrimiento obteniendo así una atmósfera adecuada para la transferencia de metal del electrodo hacia el material base. Se usa electrodo 6010 adecuado para acero al carbono, tiene revestimiento celulósico sódico, para corriente positiva, amperaje entre 60 y 90 A.



**Figura 123 Máquina Soldadora por arco manual con electrodo revestido**

Se le fija a la estructura de la misma manera una platina por esquina (total cuatro), que permita realizar el montaje de la cámara de secado en la parte superior del soporte con un agujero que permite usar pernos de ½” para realizar una junta pernada.



**Figura 124** Platina para ensamblar el soporte a la cámara de secado

#### ***5.1.1.2 Selección y montaje de las garruchas de soporte.***

El secador va a operar en un lugar determinado pero debido a su peso y dimensiones necesita elementos que le permitan ser transportado fácilmente, se ha hecho la selección con criterios obtenidos de sus distribuidores en la ciudad de Quito, según la disponibilidad de Ruedas y Garruchas S.A.

Tomando en cuenta que se va a ubicar la máquina sobre un piso de concreto, dando una tolerancia por el nivel de humedad ambiental de Santo Domingo de los Colorados se requiere que trabaje eficazmente sobre superficie húmeda y el peso es de en conjunto a plena carga es de alrededor 500 kg (distribuido en 4 ruedas).

## GUIA PARA SELECCIONAR RUEDAS

		RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE												CONSULTAR CON NUESTRO DEPARTAMENTO TECNICO						
Tipo de Rueda	Capacidad de Carga	Superficie de Trabajo												Condiciones ambientales		Dureza (Shore)					
		ACERO CORRUGADO	ALFOHIBRA	ASFALTO	BALDOSAS - LOSETA	CERAMICAS - MAYOLICAS	CONCRETO	LADRILLO VITRIFICADO	MADERA	TAPETE PLASTICO	ACEITE INDUSTRIAL	AMORTIGUACION DE CARGA	CONTACTO CON VAPOR	GRASAS ANIMALES	PROTECCION DE PISO	QUIMICOS	SUPERFICIE HUMEDA	TEMPERATURA ALTA	TRABAJO SILENCIOSO	VIRUTA METALICA	A - SHORE R - ROCKWELL BHN - BRINELL
AF	150-250	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	75-80 A
BA	50-500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	214-230 BHN
BF	65-450	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	75-80 A
NEUMÁTICA	90-150	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	65-70 A
NYLON	100-150	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	60-70 D
PB	55-230	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	70-80 A
PR	75-500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50-60 D
PU	75-680	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	90 A
SC	400-1.200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	90 A
ALTA TEMPERATURA	180-680	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50 D
MÉDICA	80-160	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	70 A
ANTIPINCHAZO NF	130	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50-60 A

Figura 125 Criterios de selección garruchas

FUENTE: (<http://www.ruedasygarruchas.com/Guia.html>)

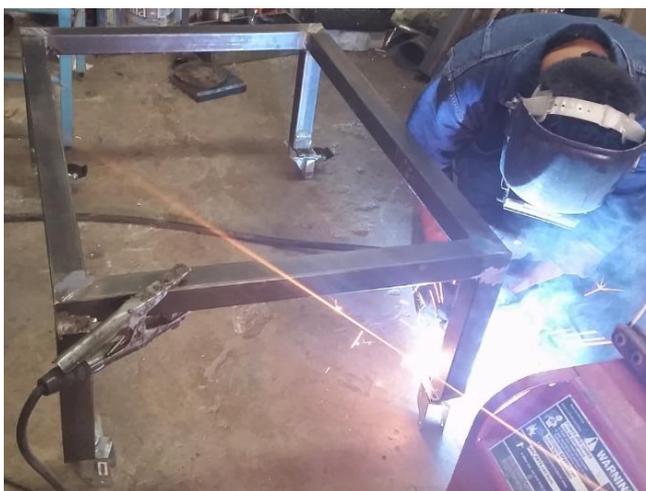
Se precisa dos pares de ruedas, uno con frenos y otro sin freno mecánico; por disponibilidad se escoge las ruedas de tipo PU liviana de 3 pulgadas de diámetro, cuyo rin es de polipropileno, banda de poliuretano blando con buje de nylon. Y soporta una carga de 150 kg.



Figura 126 Garrucha con freno con 150 kg de capacidad de carga

La fijación de las garruchas a la estructura de soporte se hace a través de suelda dispuestas de tal manera que la platina superior quede contenida internamente en las patas del soporte, para evitar que queden bordes salientes que pueden golpear o lastimar al operario cuando este camine cerca del secador.

Se retiran las ruedas de las garruchas para evitar que la temperatura durante el proceso de soldadura pueda ocasionar deformaciones. Luego de lo cual se las regresa a su lugar.



**Figura 127** Suelda de las garruchas a las patas del soporte

## 5.1.2 Cámara de Secado.

### 5.1.2.1 *Elaboración de Estructura de la cámara.*

En el apartado 4.1.1.1. se hace la también la selección del tubo cuadrado de 20 mm de ancho y espesor de 2 mm; con el fin de que la estructura soporte el peso total de los elementos que conforman la cámara y de los que se apoyan sobre ella, además de la carga del producto por ciclo de secado. Las dimensiones se detallan en los planos anexos.



**Figura 128** Proceso de construcción de la estructura de la cámara de secado

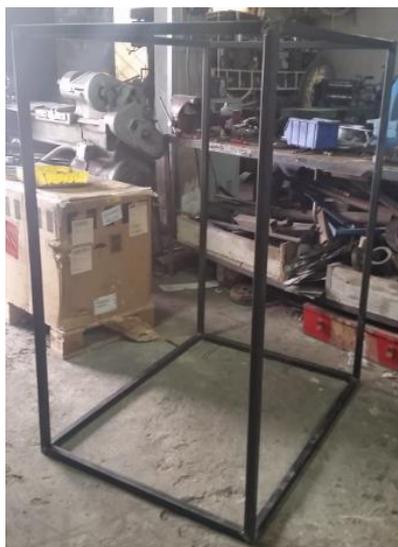
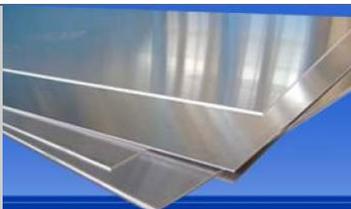


Figura 129 Estructura de la cámara de secado

### 5.1.2.2 Elaboración de las paredes externas e internas de la cámara.

Tabla 42

Descripción de los materiales de las paredes internas y externas de la cámara de secado

Lámina	Externa	Interna
<b>Fotografía</b>	 <p><b>Fuente:</b> <a href="http://www.35443893-catalogo-acero-dipac.pdf">http://www.35443893-catalogo-acero-dipac.pdf</a></p>	 <p><b>Fuente:</b> <a href="http://www.acerosindustrialeshgb.com/fotos/img400_pic2578_producto.jpg">http://www.acerosindustrialeshgb.com/fotos/img400_pic2578_producto.jpg</a></p>
<b>Material</b>	Acero Galvanizado	Acero Inoxidable 304L
<b>Espesor</b>	1.1 mm	1.2 mm
<b>Medidas Comerciales</b>	1.22 m x 2.44 m	1.22 m x 2.44 m
<b>Aplicaciones</b>	Ductos para aire acondicionado, puertas metálicas, perfilera de tumbado, cámaras frigoríficas, partes y piezas de línea blanca.	Ingeniería civil y arquitectura, equipo de aviación, trenes, naval, petroquímica, tuberías, textiles, industria alimenticia, cosmética, cosmética, farmacéutica, etc.

FUENTE: ([http://www.ipac-acero.com/assets/img/upload/big/CatalogoIPAC\\_11.pdf](http://www.ipac-acero.com/assets/img/upload/big/CatalogoIPAC_11.pdf))

Al tener las planchas necesarias tanto para la parte interna como para la externa se realiza la medición y trazos correspondientes, confirmar la coherencia entre lo medido

y los planos presentados; organizar los trazos de tal manera que se optimice el material y se obtenga la menor cantidad de desperdicio del mismo.



**Figura 130 Medición y trazado de aristas y límites en láminas de acero galvanizado (externo) y acero inoxidable (interno)**

Por medio de una cizalla marca NIAGRA de mando manual se realizan las tareas de corte, por seguridad se deben utilizar siempre guantes de lana o cuero, verificar las medidas y sujetar con firmeza la plancha para conseguir cortes precisos.



**Figura 131 Corte de las planchas de acero comercial de 1.22x2.44 m**

Para la realización de dobleces en ángulos definidos por el diseño se hace uso de una dobladora NIAGRA, ubicando las planchas o partes de las mismas de manera apropiada para obtener las piezas con la geometría deseada.



**Figura 132 Doblado de las planchas de acero**

Posteriormente se colocan las planchas externas de la cámara sobre la estructura, listas para el proceso de soldadura.



**Figura 133 Colocación de lámina exterior sobre la estructura de la cámara**

El proceso de soldadura es a través del proceso MIG, proceso de soldadura de arco, donde la fusión se produce por un calentamiento con un arco entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza; la protección del arco se obtiene de un gas suministrado de forma externa, protegiendo el metal líquido de la contaminación atmosférica y ayuda a estabilizar el arco. (Indura S.A., 2013)



Figura 134 Equipo de soldadura Gala MIG 260

FUENTE: (<http://www.mahezasa.es/fichas/ocasion/soldaduras/SOLDADURA-GAR-GALAMIG260-05792.JPG>)

El proceso MIG lleva a cabo la transferencia por corto circuito, obteniendo un cordón estable usando baja energía y bajo calor; se utiliza el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como gas protector.

Tabla 43  
Especificaciones Técnicas del Equipo de Soldadura Gala MIG 260

Concepto	Valor	Unidad
<b>Voltaje</b>	220/380	Vac
<b>Fases</b>	3	NA*
<b>Potencia Consumida Máx.</b>	8.5	KW
<b>Intensidad IN Máx.</b>	23/13	A
<b>Tensión Soldadura Máx.</b>	16.5/37	V
<b>Diámetros Hilo Aplicables</b>	0.6-0.8-1.0	Mm
<b>Velocidad Hilo Máx.</b>	17	m/min
<b>Dimensiones</b>	645x375x910	mm
<b>Peso</b>	79	Kg

FUENTE: (<http://www.machines4world.com/es/anuncios/ver/soldadura-electrica-gala-mig-260/254>)

\*NA: No Aplica

Se hace puntos de suelda entre las planchas de acero galvanizado que conforman la pared externa y la estructura de la cámara de secado. Para la soldadura de Acero Inoxidable cuyo aplicativo es la industria alimenticia se usa el alambre ER308L. (Indura S.A., 2013)



**Figura 135 Cámara Interna Acero Inoxidable 304L**



**Figura 136 Puntos de soldadura en el Acero Inoxidable**

### 5.1.2.3 Implementación del aislante en la cámara de secado.

Según se determinó en el capítulo de diseño se utilizará lana mineral como aislante térmico para evitar las pérdidas de calor que por conducción, convección y/o radiación sean representativas.

**Tabla 44**  
*Descripción del Material Aislante*

Material	Lana Mineral
Fotografía	
Medidas	1000mm x 600 mm
Espesor	2 pulg (50 mm)
Rango Temperatura	80-750 °C
Conductividad Térmica	0.035 W/mK
Densidad Nominal	130 kg/m <sup>3</sup>

FUENTE: ([http://www.rockwool-searox.com/products/u/2011.product/19003/firesafe-insulation/searox-sl-640-\(marine-firebatts-130\)\)](http://www.rockwool-searox.com/products/u/2011.product/19003/firesafe-insulation/searox-sl-640-(marine-firebatts-130))))

Posterior a la medición de las dimensiones necesarias del material aislante se procede a cortar la lana mineral con ayuda de una tijera industrial debido al espesor del material; en este caso se requiere el uso de una mascarilla que evite que las partículas que se desprenden del aislante ingresen al sistema respiratorio del operario.



**Figura 137** Proceso de corte de la lana mineral

Se procede a colocar el aislante de manera anterior a las planchas de acero galvanizado que conforma la cubierta exterior de la cámara de secado.



**Figura 138** Ubicación del aislante de la cámara de secado

#### ***5.1.2.4 Elaboración de agujeros de entrada y salida de aire.***

Para realizar los agujeros de entrada y salida del aire de secado acorde a los planos del diseño se utiliza una cierra caladora, luego para eliminar los bordes cortantes o aristas vivas se utiliza la amoladora afinando el acabado del borde.



**Figura 139** Cierra caladora

**FUENTE:** ([http://www.bulonquilmes.com/\\_gUpload/productos/2410.jpg](http://www.bulonquilmes.com/_gUpload/productos/2410.jpg))



**Figura 140** Vistas de los cortes de entrada y salida de aire de la cámara

#### ***5.1.2.5 Elaboración y Montaje de la puerta.***

Debido a la humedad y el trabajo con productos alimenticios se utiliza para la puerta el acero inoxidable 304. Para lo cual internamente se encuentra una capa de 2 pulg de lana mineral entre las láminas de acero inoxidable, el procedimiento se compone de los mismos pasos antes descritos, medición, corte, doblado y el método de unión es a través de soldadura MIG.



**Figura 141** Puerta de la cámara de secado

**Tabla 45**  
*Descripción de la composición del vidrio aislante*

Conformación Aislante	Vidrio	Espesor	Dimensiones	Peso
Vidrio Laminado		6 mm	1000 mm x 150 mm	1.50 kg
Cámara 1		10 mm		
Vidrio Flotado (Vidrio Plano)		4 mm		
Cámara 2		10 mm		
Vidrio Templado		4 mm		

Se realiza la compra del vidrio aislante cuando este se halla completamente conformado, acorde a los requerimientos que se indican en la tabla 45, señalados también como parámetros de diseño en el capítulo 4 cabe señalar que tiene dos pequeños conductos que permiten salir el aire dentro de las cámaras para evitar una ruptura por sobrepresiones.



**Figura 142 Vidrio cámara para la puerta**

### 5.1.3 Ventilador Centrífugo.

El requerimiento de temperatura para el ventilador centrífugo ha limitado la adquisición del mismo por simple selección y debido a su disponibilidad se ha procedido a construirlo a partir de especificaciones del que comercialmente cumple con el requerimiento de caudal, mas no de temperatura de trabajo.



**Figura 143 Ventilador centrífugo Soler & Palau BD 1300**

#### **5.1.3.1 Rotor.**

El material del rotor del ventilador es de Acero SAE 1020 (acero bajo en carbono), presentando tolerancia a altas temperaturas de trabajo, fácil mecanizado y alta soldabilidad, resistencia a la corrosión; descritas sus propiedades se sustenta la razón por la cual es ubicado sin problemas cerca a la fuente de calor del sistema.

Se adquirió un juego de aspas inclinadas, las cuales de manera conveniente se ubicarán de tal manera que se tenga inclinación retrasada obteniendo una mayor eficiencia considerando que el giro es en sentido antihorario.



**Figura 144 Rodete o Rotor del ventilador con álabes inclinados**

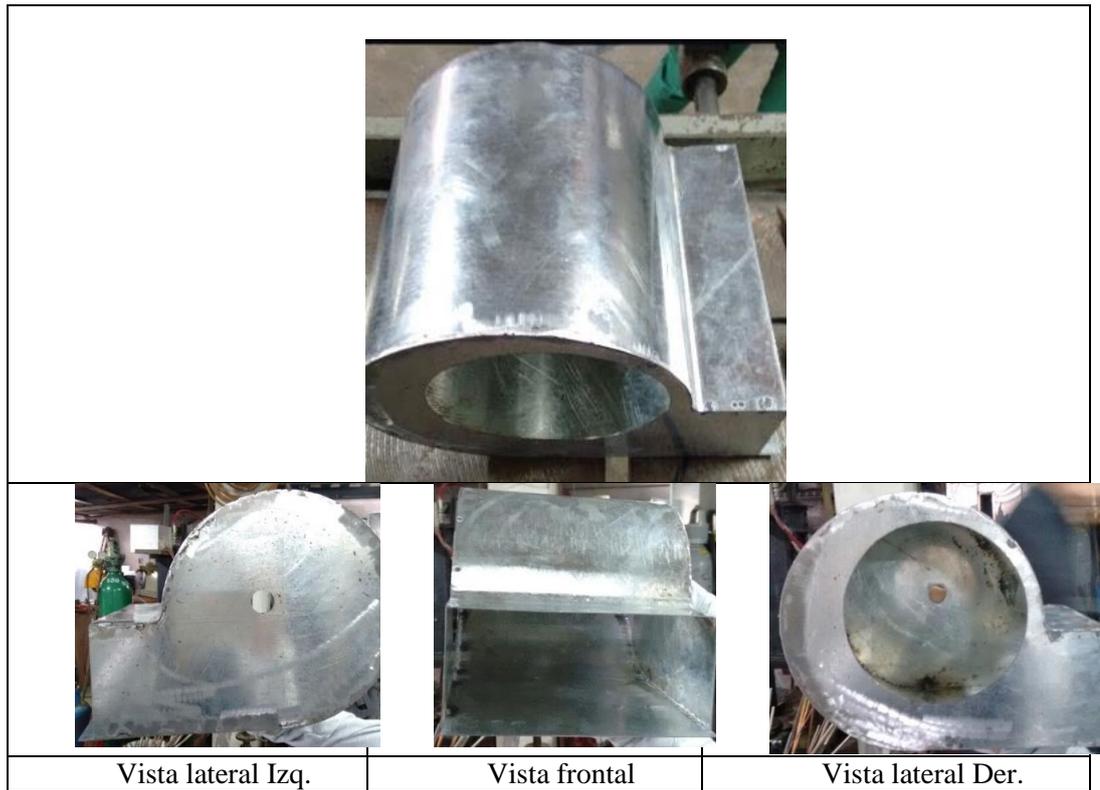
### 5.1.3.2 *Voluta o Carcasa.*

Para la construcción de la envolvente del rotor se utiliza el proceso de rolado o barolado, que consiste en hacer pasar la lámina de acero galvanizado entre un juego de rodillos que permiten darle la forma curva a la pieza de acero mientras esta atraviesa los mismos de manera continua, se ajustan las posiciones de los rodillos hasta obtener el radio deseado.



**Figura 145 Proceso de Rolado**

La voluta del ventilador es la cámara en forma de espiral en la cual gira el rotor y que recoge el fluido de manera radial debido a la presión negativa que se genera en la base de los álabes por su movimiento y lo impulsa a través de la salida de descarga del mismo con una mayor velocidad de manera perpendicular al eje del rotor.



**Figura 146** Carcasa o voluta del ventilador centrífugo

### 5.1.3.3 Montaje del Ventilador.

Una vez que se tiene tanto el rodete como la carcasa de recubrimiento se procede a realizar el acople del eje del motor al agujero central de giro de las aspas, se realiza un proceso de torneado para disminuir el diámetro del eje del motor.



**Figura 147** Torneado del eje del motor del ventilador

Una vez alcanzadas las dimensiones necesarias se realiza el acople final entre el motor, las aspas y la carcasa, en este caso se calibra primero el rotor y el eje para que

no existan vibraciones indeseadas. Se construyó una base en tubo negro para compensar la altitud del centro de giro del rotor y el eje del motor puedan coincidir.



**Figura 148 Acople motor, rodete y voluta del ventilador centrífugo**

Como se observa en la figura 149 se realizó una extensión del oído de aspiración del ventilador para poder realizar posteriores conexiones de ductos destinados a la recirculación.



**Figura 149 Ventilador Centrífugo montado**

#### **5.1.4 Ductos.**

Se construye el ducto de acero galvanizado de 1.1 m de espesor, se realizan las mediciones, trazado, corte y posterior unión a través de pernos autorroscantes de 9/16” en las secciones requeridas.

#### **5.1.4.1 Acople Ventilador-Ducto**

Con el fin de obtener hermeticidad y minimizar las pérdidas de carga del ventilador se realiza una unión permanente que permite por medio de un difusor o ensanchamiento del ducto un ajuste entre la boca de impulsión del ventilador y la entrada del ducto que contiene las resistencias y se dirige a la cámara de secado.



**Figura 150 Acople de salida del ventilador centrífugo**

#### **5.1.4.2 Sentido Ventilador a Cámara.**

Con el mismo proceso de medición, trazado, doblez y corte se obtiene las caras de los ductos, que después se recubren internamente con lana de roca para evitar pérdidas de calor.



**Figura 151 Recubrimiento del ducto interno con aislante**

Posterior a la colocación del aislante se procede a colocar las paredes externas del ducto.



**Figura 152 Recubrimiento de ducto externo**



**Figura 153 Codo entre salida del ventilador y ducto de entrada a la cámara**

Se realiza un codo para el cambio de dirección con un ducto en tres partes, como se observa en la figura 155, a continuación.



Figura 154 Codo de ingreso a la cámara de secado

#### 5.1.4.3 Sentido Cámara a Ventilador.

Se seleccionó ducto flexible de aluminio con el fin de alimentar la entrada de absorción del ventilador debido a sus características:



Figura 155 Ducto de aluminio de 6" de diámetro

Tabla 46  
Características del ducto flexible

Características de Servicio	de	Unidades Inglés	Sistema	Unidades SI
<b>Diámetro</b>		6 pulg		15.24 cm
<b>Largo</b>		8 pies		2.4 m
<b>Velocidad Máxima</b>		500 FPM		25.42 m/s
<b>Presiones Nominales Máximas</b>		6 mm agua		6 mm agua
<b>Rango de Temperatura</b>		-100 a 430 °F		-73 a 221 °C

Como se observa en la figura 149 la extensión del oído de absorción para que se acople la manga de aluminio y sea el conducto de recirculación.

### 5.1.5 Chimenea.

Para la elaboración de la chimenea se requieren procesos que ya se han tratado anteriormente, primero se realiza la medición en la lámina de acero inoxidable, luego el trazado y corte. El proceso de rolado también tiene lugar hasta que se consigue el diámetro deseado.



**Figura 156 Ducto de la chimenea**

Finalmente se procede a soldar con suelda MIG y se obtiene una junta hermética que luego será acoplada al agujero de la cámara destinada a ser la chimenea.

### 5.1.6 Bandejas.

La materia prima para el desarrollo de las bandejas es la malla de acero inoxidable, el proveedor posee diferentes espesores y también diferente porcentaje se área libre.



**Figura 157 Rollos de malla de acero inoxidable diferentes espesores**

Una vez determinadas las dimensiones requeridas para la elaboración de bandejas acorde a los planos, se procede a realizar la medición, el trazado y corte de cada una.



**Figura 158 Sección de malla de acero inoxidable**

Tanto para los bordes de las bandejas como para los perfiles de soporte de las mismas se mide en la plancha de acero inoxidable, se corta y se dobla de manera conveniente para obtener la geometría deseada.



**Figura 159 Perfil de soporte lateral de bandejas**

El proceso para la fijación de los soportes a los nervios longitudinales situados dentro de la cámara de secado se realiza el ya mencionado proceso de soldadura MIG.



**Figura 160 Soldadura de perfiles de soporte de bandejas**

Se ha realizado el perfil externo de la bandeja, sobre el cual se ha soldado la malla de acero inoxidable y finalmente con la intención de proveer mayor rigidez se coloca un perfil interno que además cubre el filo de la malla que puede resultar filoso al tacto.



**Figura 161 Bandeja en cámara de secado**

Dadas las propiedades del material una vez obtenida la forma requerida se procede al proceso de pulido, con ayuda de un esmeril se eliminan las aristas vivas.



**Figura 162 Pulido de aristas vivas de bandejas**

### **5.1.7 Bisagras**

Se seleccionó este tipo de junta móvil para facilitar la apertura y cierre de la puerta de la cámara de secado



**Figura 163 Instalación de bisagras de la puerta**

### 5.1.8 Seguro de Puerta

Este tipo de seguros nos permite con el accionamiento manual de la palanca abrir la puerta y mantienen el sistema cerrado si no se acciona.



**Figura 164 Seguro de Puerta**

### 5.1.9 Acople renovación de aire

Se tiene la lámina de acero galvanizado, sobre el cual lo primero a realizar es la medición, trazado y corte de las secciones circulares con ayuda de una tijera de taladro, mediante la cual con el movimiento circular se procede a retirar las partes correspondientes a los dos orificios de entrada de aire.



**Figura 165 Corte circular de pieza de acople**

Se procede a cortar el tol con las medidas previstas para realizar la pieza guía, luego se dobra y se suelda con las dos piezas roladas para el ingreso de aire producto de recirculación y aire ambiental.



**Figura 166** Pieza guía de acople cortada



**Figura 167** Pieza guía de acople doblada



**Figura 168** Salidas circulares acopladas

Para poder obtener la geometría diseñada para la puerta que se moverá en la guía se utiliza en una plancha de 200x200x20 mm un sistema cnc de fresado, para lo cual se cumplen con los procesos de desbaste y afinado.



**Figura 169** Maquinado de plancha de duralón

Se obtiene de esta manera la pieza en duralón, el acople angular y la pieza guía; además que en la parte superior se instaló un mecanismo biela cremallera galvanizado con el fin de traducir el movimiento giratorio del motor reductor en un desplazamiento lineal.



**Figura 170** Ensamble de acople de renovación de aire



**Figura 171 Sistema de renovación de aire montado**

#### **5.1.10 Soporte de gabinete de control**

Tiene una geometría muy similar a la que tiene el soporte de la cámara de secado, pero este se acopla al otro soporte de manera lateral, el proceso que es nuevo es el tronzado para realizar el corte de los tubos cuadrados de acero.



**Figura 172 Corte de tubo negro con tronzadora**

### 5.1.11 Gabinete de Control.

Para la construcción e implementación del tablero de control se contrataron los servicios de SICAL tanto en la parte mecánica como en la de implementación de sus elementos.

Después de la medición, trazado y corte se obtienen las secciones de la plancha que se requieren para la construcción del tablero.



**Figura 173** Secciones de la plancha de tol después de ser cortadas



**Figura 174** Proceso de doblado dl tol del gabinete de control



**Figura 175** Resultado del doblado para la estructura principal del gabinete de control

Después de realizar tres puntos de soldadura MIG a cada una de las dos nervaduras que sostendrán el doble fondo, para fijarlas a la parte principal del tablero se procede a taladrar para realizar los agujeros de los pernos que ajustarán el doble fondo.

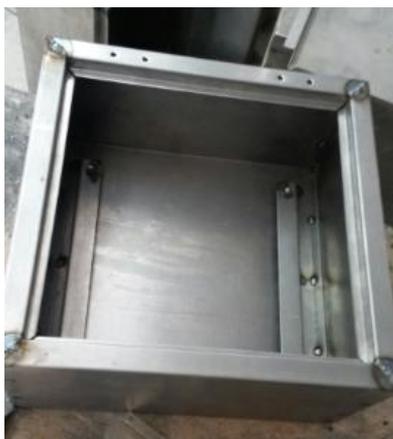


**Figura 176 Proceso de taladrado**

Posterior a este paso se colocan las otras secciones que conforman los lados: izquierdo y derecho del gabinete de control y se procede a fijarlos a través de suelda MIG.



**Figura 177 Proceso de soldadura del gabinete**



**Figura 178 Estructura compacta del gabinete de control**

Una vez concluida la conformación del gabinete de control como un solo cuerpo se procede a pintarlo con pintura electrostática y su curado se realiza en un horno de secado mediante el cual por el incremento de temperatura se fija la pintura y se obtiene un acabado más resistente a la corrosión.



**Figura 179 Gabinete en la cámara de curado después de ser recubierto con pintura electrostática**

Finalmente se hace el ensamblaje de los elementos de acabado como lo son las bisagras de la puerta y el seguro de la misma.



**Figura 180** Gabinete con bisagras

## **5.2 Implementación de los componentes Eléctricos y/o electrónicos**

Se reconocen elementos de electrónica de potencia, de electrónica digital y el montaje de los mismos en el gabinete de control y en la máquina de secado como tal.

### **5.2.1 Elementos de Potencia.**

En el diagrama de potencia se distinguen los elementos descritos a continuación, dentro de lo cual se encuentran las protecciones y los actuadores térmicos y de giro.

#### **5.2.1.1 Interruptor Termomagnético (Breaker).**

Elemento que sirve de protección para cortocircuitos y sobrecargas.



**Figura 181** Interruptor termomagnético GE de 2 polos, 63A, 220 V

### 5.2.1.2 Contactor Principal.

El contactor encargado de la activación general del sistema del secador soportará la carga total, trabajará con la misma corriente que el breaker, el más cercano valor comercial del mercado es de 65 A.



Figura 182 Contactor Metasol 65 A, 220 V

### 5.2.1.3 Contactor (x4).

Por mantener la uniformidad en la corriente de manejo de los contactores se selecciona el que dispositivo con valor comercial de corriente más aproximado al mayor valor obtenido en cada una de las cargas; además que se sigue tomando en cuenta que sea bipolar.



Figura 183 Contactor Metasol 2P, 30 A, 220 V

#### 5.2.1.4 Banco de Resistencias.

Según parámetros de diseño se realizó requiere una potencia aproximada de 10 KW, por lo cual se tiene un banco de resistencias con cuatro M, en el primer juego se prenden 2 resistencias y en el segundo y tercero uno correspondiente; por lo cual la potencia individual es de 2500 W y el material en el que han sido conformadas es acero inoxidable 304.



**Figura 184 Resistencia eléctrica tipo U, antes del proceso de doblado**



**Figura 185 Banco de Resistencias**



**Figura 186 Terminales para conexión de resistencias**

### 5.2.1.5 Motor del Ventilador

Para el montaje del ventilador se requirió un motor termorresistente,



Figura 187 Motor para aplicaciones térmicas



Figura 188 Motor y elementos de montaje

## 5.2.2 Elementos de Electrónica Digital.

A más del mando automático que tiene el secador existe la posibilidad de realizar un mando manual, para lo que se ha hecho uso de pulsadores de prendido y apagado de las cuatro cargas; por lo cual para cada una también se tiene un relé de activación.

### 5.2.2.1 Selector

Tiene tres posiciones que permiten activar el mando manual, el mando automático o ninguno de los dos.



**Figura 189 Selector tres posiciones**

FUENTE: (<http://www.rexel.cl/ecommerce/img/p/2592-1928-large.jpg>)

### 5.2.2.2 Pulsadores (x10).

Los pulsadores para operar en el modo manual soportan los 220 V; el de color verde es normalmente abierto (NO) y el de color rojo es normalmente cerrado (NC) y sirven para dar la señal de enclavamiento o desenclavamiento de cada una de las cargas del sistema.



**Figura 190 Pulsadores NO (verde) y NC (rojo)**

FUENTE: (<http://www.ndu.cl/pulsador-plano-verde-contacto-modular-1na-%C3%B822mm-2>)

### 5.2.2.3 Relé (x4).

Por seguridad para el dispositivo de control que soporta hasta 16 A a su salida se colocan a cada una de las cargas un relé que permite la apertura o cierre del circuito de alimentación de la misma por medio de una entrada de corriente de activación al

mismo que hace cambiar de estado la conexión. En este caso se ha dado la misma holgura que para los contactores, es decir que soportan una corriente de 30 A.



**Figura 191** Relé ABB 2P, 30 A

#### **5.2.2.4** *Luces Piloto (x5).*

Se conectan en paralelo a las resistencias y el motor del ventilador, además de ser indicador del encendido del sistema; permitiendo visualizar cuando estos se encuentran operativos.



**Figura 192** Luz Indicadora para encendido del sistema y para cada carga

**FUENTE:**

(<http://www.kersting.cl/SwProductos.aspx?CodProd=5371200&SubGrupo=4&Grupo=12&SubSubGrupo=1>)

#### **5.2.2.5** *Pulsador Tipo Hongo.*

Para el paro de emergencia se utiliza un pulsador tipo hongo, que hace que el sistema se apague por completo.



**Figura 193** Pulsador tipo hongo

**FUENTE:**

([www.inmaelectro.com/filesproductos/ProductosJulio/2011Agosto16\\_100344\\_galeria\\_6049ad.jpg](http://www.inmaelectro.com/filesproductos/ProductosJulio/2011Agosto16_100344_galeria_6049ad.jpg))

**5.2.2.6 Horómetro.**

Con la intención de visualizar el tiempo transcurrido en el proceso de secado se ha instalado un horómetro que registra el tiempo transcurrido desde el arranque del sistema.

**Figura 194 Horómetro**

FUENTE: ([http://www.ledcontrols.com.mx/i/c/4c6c0913ebc73\\_horometro.jpg](http://www.ledcontrols.com.mx/i/c/4c6c0913ebc73_horometro.jpg))

**5.2.2.7 Cableado Eléctrico.**

Como ya se ha explicado la corriente en el circuito de potencia tiene diferentes medidas para lo cual el diámetro aconsejable de cable conductor tiene diferentes calibres.

**Cuadro 2**

*Diámetros aconsejables de cables acorde a temperatura y corriente*

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A	18 AWG	10 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	16 AWG	13 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	14 AWG	18 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A	12 AWG	25 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

FUENTE: (<https://www.voltech.com.mx/cables.php>)

**Tabla 47**  
*Calibre de cable de potencia*

Tramo	Calibre	Longitud Aproximada
<b>Alimentación-Breaker-Contactor Principal</b>	6 AWG	5 m
<b>Banco Resistencias 1</b>	10 AWG	3 m x2
<b>Banco Resistencias 2 y 3</b>	12 AWG	3 m x2
<b>Motor Ventilador</b>	14 AWG	3 m x2

### 5.2.3 Montaje de elementos eléctricos.

Sobre el tablero de doble fondo se hace montaje de la riel DIN según normas y se ubica de manera estratégica las canaletas ranuradas protectoras de cable; a más de que ya se encuentran los cables debidamente rotulados y asegurados por medio de amarras plásticas y canaletas flexibles de tipo redondo.



**Figura 195 Rieles DIN y canaletas ranuradas para el montaje de elementos electrónicos**



**Figura 196 Amarras plásticas y canaletas flexibles para el cableado**

### 5.3 Implementación del Sistema de Control

#### 5.3.1 Controlador de Temperatura y Humedad.

Se seleccionó el controlador de humedad y temperatura Fullgauge modelo MT-530, por medio de un solo bulbo se miden las dos variables y tiene tres relés secos para ser utilizados como salidas de control.



Figura 197 Sensor de Humedad y Temperatura MT-530.

FUENTE: ([http://mco-s1-p.mlstatic.com/controlador-de-temperatura-y-humedad-mt530-super-full-gauge-1214-MCO18729303\\_5992-F.jpg](http://mco-s1-p.mlstatic.com/controlador-de-temperatura-y-humedad-mt530-super-full-gauge-1214-MCO18729303_5992-F.jpg))



Figura 198 Controlador de Humedad y Temperatura MT-530.

FUENTE: (<http://www.fullgauge.com/es/manual-del-producto-40>)

#### 5.3.2 PLC.

El dispositivo encargado del control general de las señales que intervienen en el proceso es un Controlador Lógico Programable (PLC), el aparato seleccionado es el Logo 230 RC de la casa Siemens, tiene 8 entradas y 4 salidas de relé, opera con corriente alterna. El modo de conexión se especifica en el diagrama de control y su programación en el apartado 4.4.



**Figura 199 PLC Siemens Logo 230RC**

**FUENTE:** (<http://www.insystems-shop.de/media/images/org/Art6ED1052-1FB00-0BA6.jpg>)

### 5.3.3 Montaje de elementos de control.

Se observa el PLC con su cableado y nomenclatura necesaria.



**Figura 200 Montaje del PLC**

## 5.4 Programación del Sistema de Control

Programación en diagrama de bloques para la lógica del PLC.

MODO AUTOMÁTICO

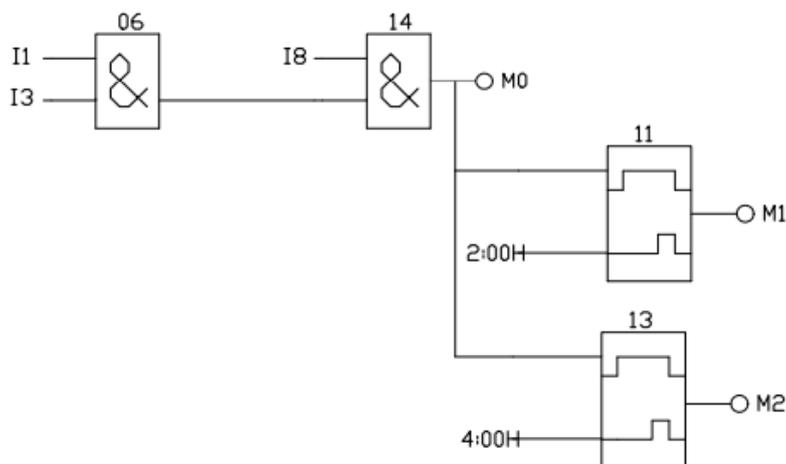
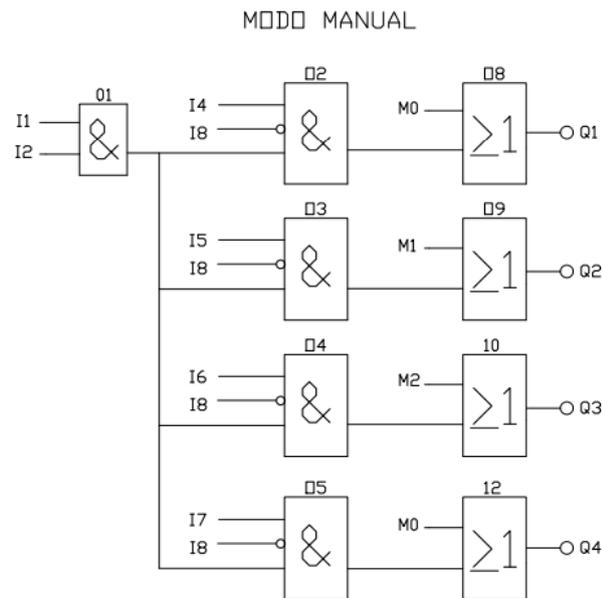


Figura 201 Programación para el Modo Automático

Tabla 48  
Variables de Programación del PLC

Variable	I/O PLC	Variable Diagrama
Encendido	I1	KM1
Mando Manual	I2	S1 (Man)
Mando Automático	I3	S1 (Auto)
Relé Banco Resis1	I4	R1
Relé Banco Resis2	I5	R2
Relé Banco Resis3	I6	R3
Relé Motor Ventilador	I7	M1
Sensor Humedad Temperatura	I8	SENS
Banco Resistencias1	Q1	KM2
Banco Resistencias2	Q2	KM3
Banco Resistencias3	Q3	KM4
Motor Ventilador	Q4	KM5
Memoria de Activación Mando Automático del sistema	M0	
Memoria de Temporización 1	M1	
Memoria de Temporización 2	M2	



**Figura 202 Programación para le modo manual**

#### Proceso Manual:

Se prende el sistema con el pulsador de activación general, con el selector en el mando manual; se puede accionar cualquier juego de resistencias y el ventilador por sus correspondientes pulsadores; siempre y cuando no se alcance los 60 °C, ya que se apagarán las resistencias de ser el caso.

#### Proceso Automático:

Una vez energizado el sistema, seleccionado el mando automático, se encienden el primer juego de resistencias y el ventilador; dos horas después se enciende el segundo juego de resistencias y las 3 horas siguientes se prenden los 3 juegos; se debe tomar en cuenta que una vez que se haya alcanzado la temperatura máxima el sistema se encargará de prender y apagar las resistencias cuantas veces sea necesario para mantener una temperatura adecuada.

## 5.5 Validación y Pruebas de Funcionamiento

Una vez construida la parte mecánica y realizado su montaje, implementada la parte eléctrica y de control se procede a realizar las pruebas de funcionamiento, tanto de manera individual como en conjunto.

## 5.5.1 Pruebas Mecánicas.

### 5.5.1.1 Alineación del rotor y el eje del motor del ventilador.

Debido a que el ventilador centrífugo que se utiliza en la aplicación del secado de granos ha sido construido y no adquirido, se requiere hacer pruebas de alineamiento entre el rotor que contiene los álabes y el eje del motor que dará el movimiento. Para realizar este proceso se requiere de un reloj palpador, que sirve para comprobar la horizontalidad de las piezas mecanizadas.



**Figura 203** Reloj palpador

**FUENTE:**

([http://es.wikipedia.org/wiki/Reloj\\_comparador#/media/File:FingerTestIndicator513-404.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_comparador#/media/File:FingerTestIndicator513-404.jpg))

## 5.5.2 Pruebas del Sistema Eléctrico y de Control.

Los elementos que conforman el sistema eléctrico y de control están expuesto a posibles errores en su funcionamiento como cortocircuitos, sobrecargas, entre otros; que pueden provocar daños irreversibles o un funcionamiento fuera de lo previsto; razón por la cual es una de las etapas críticas en el proceso de ensamblaje, conexión y validación.

Previo a conectar el gabinete de control que se ha armado se deben realizar pruebas que permitan verificar que no haya errores de conexión, cables descubiertos, equipos no funcionales que se consideren de riesgo para el operario o el sistema.

### 5.5.2.1 Pruebas de Cortocircuito.

Un cortocircuito ocurre cuando se une de forma directa por medio de un conductor se une un punto de fase y otro de neutro, o dos fases distintas y debido a la baja impedancia entre los puntos de diferente potencial se genera un arco eléctrico, esfuerzos térmicos y electrodinámicos; las consecuencias de este tipo de falla van

desde daños a los equipos donde se producen, los aparatos aledaños, posibles lesiones de operarios, incendio o explosión dependiendo de la magnitud y el entorno de trabajo.

La realización de las pruebas que permiten evitar cortocircuitos se las realiza en varios puntos del cableado, verificando con un multímetro la continuidad en cada una de las fases y el neutro correspondientes del tablero y la ausencia del sonido que indica la interconexión entre las mismas. En caso de que exista continuidad entre dichos puntos se prevé un cortocircuito que requiere de una revisión más intensiva y ajustes posteriores hasta que se resuelva el problema.



**Figura 204 Comprobación continuidad breaker principal**

#### ***5.5.2.2 Medición del Voltaje de Alimentación.***

Una vez realizada la comprobación de conexión y cableado se realiza la medición del voltaje con el que se va a alimentar el tablero por medio de un multímetro, ajustando el selector en el rango y tipo adecuado de medida; en este caso el voltaje a medir es continuo, se tiene un rango de tolerancia, en este caso no se tiene 220 Vac, sino 211.2 Vac que es una diferencia no notable.



Figura 205 Medición Voltaje de Alimentación

**5.5.2.3 Prueba de Control de los Mandos de Circuito.**

Esta prueba nos permite verificar si el sistema eléctrico se encuentra controlando a los actuadores del sistema acorde a los parámetros deseados.

En esta prueba se energizan el tablero, excepto los terminales que se dirigen a los actuadores; y acorde a la activación de los contactores y luces piloto correspondientes se comprueba la secuencia correcta de funcionamiento en el modo automático o la posibilidad de realizar el control manual del proceso de secado activando cada uno de los juegos de resistencia y el ventilador a través de los pulsadores de control.

<p>Indicador de sistema activado y modo de mando manual</p>	<p>Mando manual activación Juego de Resistencias 1</p>	<p>Mando manual activación Juego de Resistencias 3</p>

### **Figura 206 Verificación de los mandos del circuito en modo manual**

En este proceso de comprobación cada uno de los contactores dirigidos a la carga opera según lo diseñado en el circuito de potencia tanto en modo manual, como se observa en la figura 207, como en el modo automático.

### **5.5.3 Pruebas del Conjunto**

Una vez conectado todo el conjunto, es decir la parte mecánica, la parte eléctrica y la de control se realizan distintas pruebas de funcionamiento conjunto. Debido a que en el proceso de secado de granos de cacao intervienen factores críticos de control se diseña el sistema según los requerimientos y alcance detallado en el capítulo 4.

#### ***5.5.3.1 Prueba de Velocidad de Aire de Ingreso.***

Debido a las pérdidas de carga y velocidad de flujo en los ductos tanto de ingreso como de salida del aire que circula por el ventilador; solamente se puede realizar esta medida cuando el ventilador se halle ensamblado en el conjunto con los ductos de absorción y de impulsión del aire.

Acorde a las condiciones de diseño planteadas se tiene que el aire en la cámara de secado permanece constante, evidentemente es una condición ideal bajo la cual se seleccionó el caudal del ventilador, cuya dependencia directa es la velocidad lineal que tiene el flujo de aire.

La velocidad que tiene el flujo de aire según parámetro de diseño es de 1.5 m/s que cabe dentro del rango aconsejable para procesos de secado de granos, entre 0.3 y 3 m/s.

El instrumento requerido en esta prueba es un anemómetro que permite medir esta velocidad y la presenta en su pantalla digital; en caso de no alcanzar el valor deseado se debe realizar un análisis de la velocidad del motor o el área del oído de aspiración del mismo.



**Figura 207** Medición Velocidad de Aire de Ingreso a la cámara de secado

### 5.5.3.2 Pruebas de Secado en Vacío.

Se realizan comprobaciones preliminares para el realizar un seguimiento del comportamiento del sistema; el consumo energético que tiene por hora la máquina secadora.

Se toma el dato del medidor de 220 que posee el domicilio donde se ubica la máquina, después de una hora se verifica la nueva lectura, su diferencia será el consumo del secador que está exclusivamente conectado a la red.

**Tabla 49**  
*Consumo energético del secador por hora*

Lectura Inicial [KWh]	Lectura Final [KWh]	Consumo por Hora [KWh]
916073	916087	14

Para la realización de la prueba en vacío se prendió la máquina sin que esta posea el producto a secar y se tomó los datos de humedad y temperatura cada 5 minutos para poder observar las tendencias de comportamiento de estas dos variables en el tiempo.



**Figura 208** Máquina secadora de cacao vacía



**Figura 209** Secador Cerrado para prueba en vacío

**Tabla 50**

*Datos generales de la prueba en vacío*

<b>Fecha de Realización</b>	<b>23/04/2015</b>
<b>Hora de Inicio</b>	17:11
<b>Hora de Finalización</b>	19:42
<b>Temperatura Inicial Cámara</b>	19.1 °C
<b>Humedad Inicial Cámara</b>	57.8 %

**Tabla 51**  
*Datos de humedad y temperatura prueba en vacío*

#	tiempo (min)	Humedad (%)	Temperatura (°C)
1	5	45,2	23
2	10	26,1	32,6
3	15	17,8	39,5
4	20	13,1	45,8
5	25	10,1	51,1
6	30	8,4	54,3
7	35	9,8	51,1
8	40	8,2	54,5
9	45	9,1	51,5
10	50	8,5	53,3
11	55	8,2	54,1
12	60	9,4	51,6
13	65	8,2	54,5
14	70	9,5	51,3
15	75	8,2	54,3
16	80	8,5	53,2
17	85	8,5	53,6
18	90	7,7	55,3
19	95	9	51,9
20	100	7,4	55,8
21	105	6,3	58,3
22	110	5,9	60,2
23	115	6	59,5
24	120	7,5	55
25	125	7,8	54,1
26	130	5,8	60,3
27	135	6,9	56,8
28	140	8,4	52,4
29	145	5,7	60,1
30	150	6,4	58

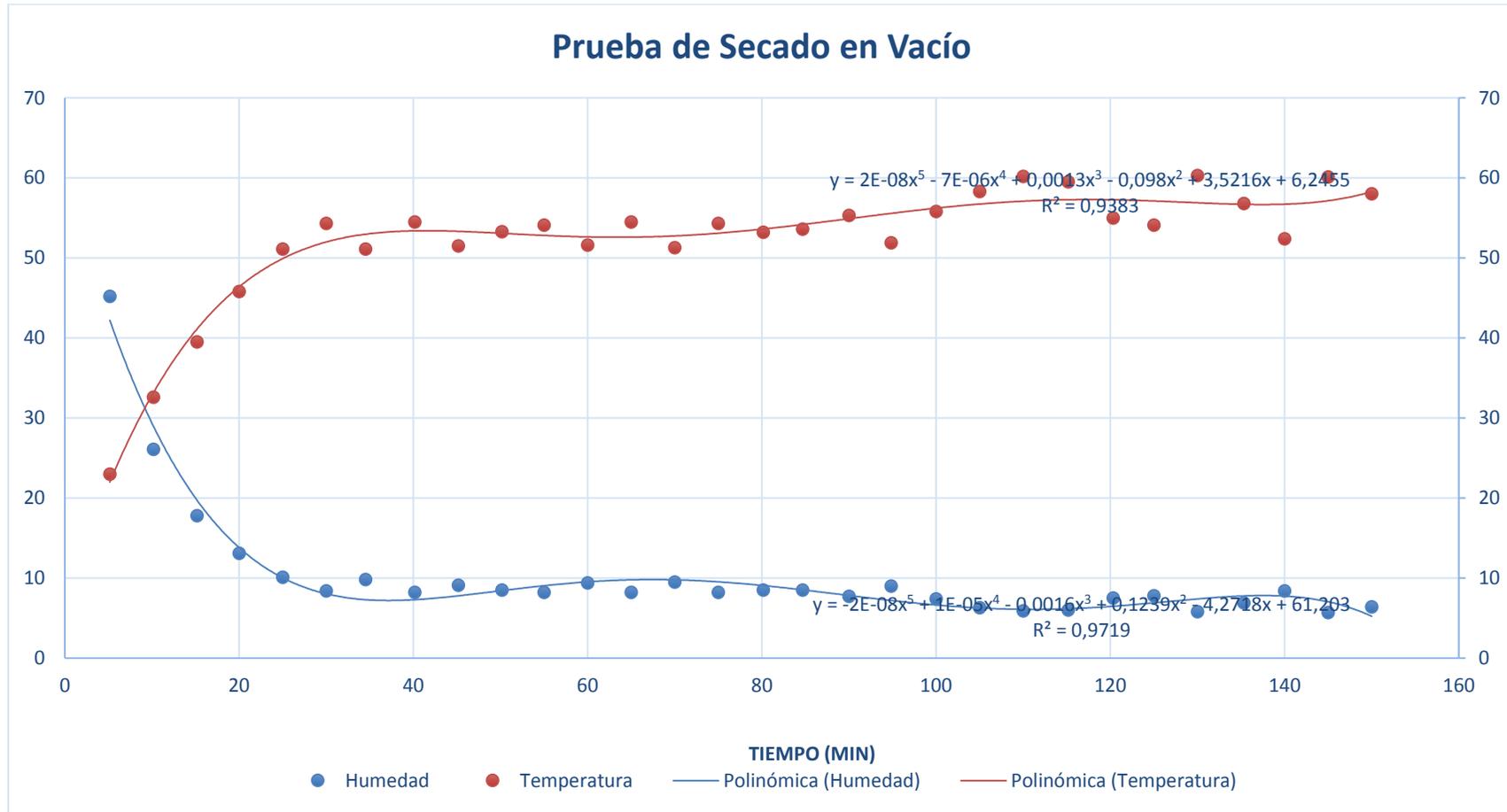


Figura 210 Gráfica de datos tomados en vacío

Se observa un gráfico donde los puntos de datos tanto de humedad como de temperatura se encuentran dispersos, tienen una clara tendencia, sin embargo el tipo de control on-off que se tiene mediante el controlador digital hace que no se obtengan lecturas constantes.

Se pudo determinar experimentalmente que al encender una resistencia de 2500 KW aproximadamente, el tiempo que tarda en alcanzar los 60 °C es de alrededor de 40 minutos; durante el proceso hubo 10 momentos donde se encendieron las resistencias la primera vez con un intervalo de 24 minutos, el tiempo se disminuía cada vez más, hasta llegar a encenderse por solamente 3 minutos.

El controlador se debe configurar a una temperatura de 52 °C para llegar como máximo a obtener 60,4 °C; ya que si se asigna el punto de temperatura máxima el aire dentro de la cámara alcanza sobre los 74 °C.

Si se apaga el ventilador, es decir no hay un movimiento del flujo de aire, la temperatura empieza a elevarse hasta cierto punto y luego desciende de manera no uniforme.

#### ***5.5.3.3 Pruebas de Secado con carga***

Debido al temporal de lluvia se ha limitado la producción de cacao; razón por la cual la muestra que se ha realizado es muy limitada.

##### **Procedimiento de la Prueba**

- Inspeccionar visualmente los granos de cacao que se encuentran fermentados para poder distinguir cualquier imperfección en los mismos.
- Pesar la masa de cacao que se va a colocar en el secador.
- Abrir el secador, recorrer una o varias bandejas la longitud necesaria para poder depositar las almendras; para este efecto se ubica en diferentes posiciones las bandejas del producto con el fin de verificar la uniformidad del secado.
- Cerrar la puerta de la cámara de secado.

- Conectar la máquina a la red de 220 V, previa verificación de su voltaje.
- Abrir el tablero de control y verificar que el breaker principal (BR1) se encuentre con el mando manual hacia arriba (conduciendo), caso contrario levantar el mando; luego cerrar la puerta del gabinete.
- De manera previa el controlador de humedad y temperatura se encuentran seteados a los valores de 45 °C y 80% HR; si exceden estos límites de manera automática el sistema viabilizará la baja de temperatura o la apertura de la entrada de renovación de aire respectivamente.
- Mediante el pulsador ON del tablero encender el sistema, seleccionar el modo de mando MANUAL.
- Dado que es una carga escalada de 1 a 100, un arranque con el juego de resistencias de más alta potencia no será favorable, el segundo o tercer juego resultan ser los más apropiados en un inicio; siempre en conjunto con el ventilador, para que el calor se distribuya en la cámara con mayor rapidez y no se concentre en el ducto que contiene las resistencias.
- Visualizar el tiempo en el horómetro de la carátula de control y pasadas dos horas del inicio encienda un juego más de los dos que quedan disponibles.
- Se puede sacar unos cuantos granos de la cámara de secado (hasta 4 veces) para comprobar su estado, mas este no es un requerimiento.
- Transcurridas 4 horas del proceso se enciende el último juego de resistencias.
- El proceso se apaga a las 7 horas de iniciado automáticamente.
- Una vez que ninguna de las luces piloto se hallen prendidas se procede a abrir la puerta del horno para que este baje rápidamente su temperatura y se pueda tocar las bandejas.
- Se retira el producto que se colocó en el secador y se pesa para determinar su humedad; este cacao ya tendrá una aroma y color característico que son importantes de tomar en cuenta en el análisis de calidad.

- **Prueba 1: Carga 840 gr**

Luego de un proceso de fermentación de 5 días en cajón de laurel, se procede a pesar el producto a secar.



**Figura 211** Peso Inicial del Cacao Fermentado

**Tabla 52**

*Datos generales del secado Prueba 1*

<b>Fecha de Realización</b>	<b>22/04/2015</b>
<b>Hora de Inicio</b>	12:56
<b>Hora de Finalización</b>	15:28
<b>Temperatura Inicial Cámara</b>	19.8 °C
<b>Humedad Inicial Cámara</b>	48.7 %



**Figura 212** Muestra de cacao secada

**Tabla 53**  
*Datos de humedad y temperatura prueba 1 de secado*

#	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
1	0	48,7	19,8
2	5	58,7	10,4
3	10	66,1	7,2
4	15	60,7	8,3
5	20	60,3	8,4
6	25	62,8	6,7
7	30	58,8	8,4
8	35	64,4	6,8
9	40	63,5	6,5
10	45	57,6	8,1
11	50	64,7	5,9
12	55	65,6	5,5
13	60	59,5	7
14	65	60,2	6,8
15	70	66,9	5
16	75	57,9	7,1
17	80	60,1	6,4
18	85	65,1	5
19	90	62	5,7
20	95	57,7	7
21	100	63,4	6,2
22	105	62,4	7,9
23	110	60,1	8,4
24	115	58,3	7,4
25	120	53,7	8,6
26	125	53,9	8,7
27	130	63,8	5,6
28	135	57,5	7,5
29	140	54,3	8,7
30	145	53	9,4
31	150	63,4	5,6

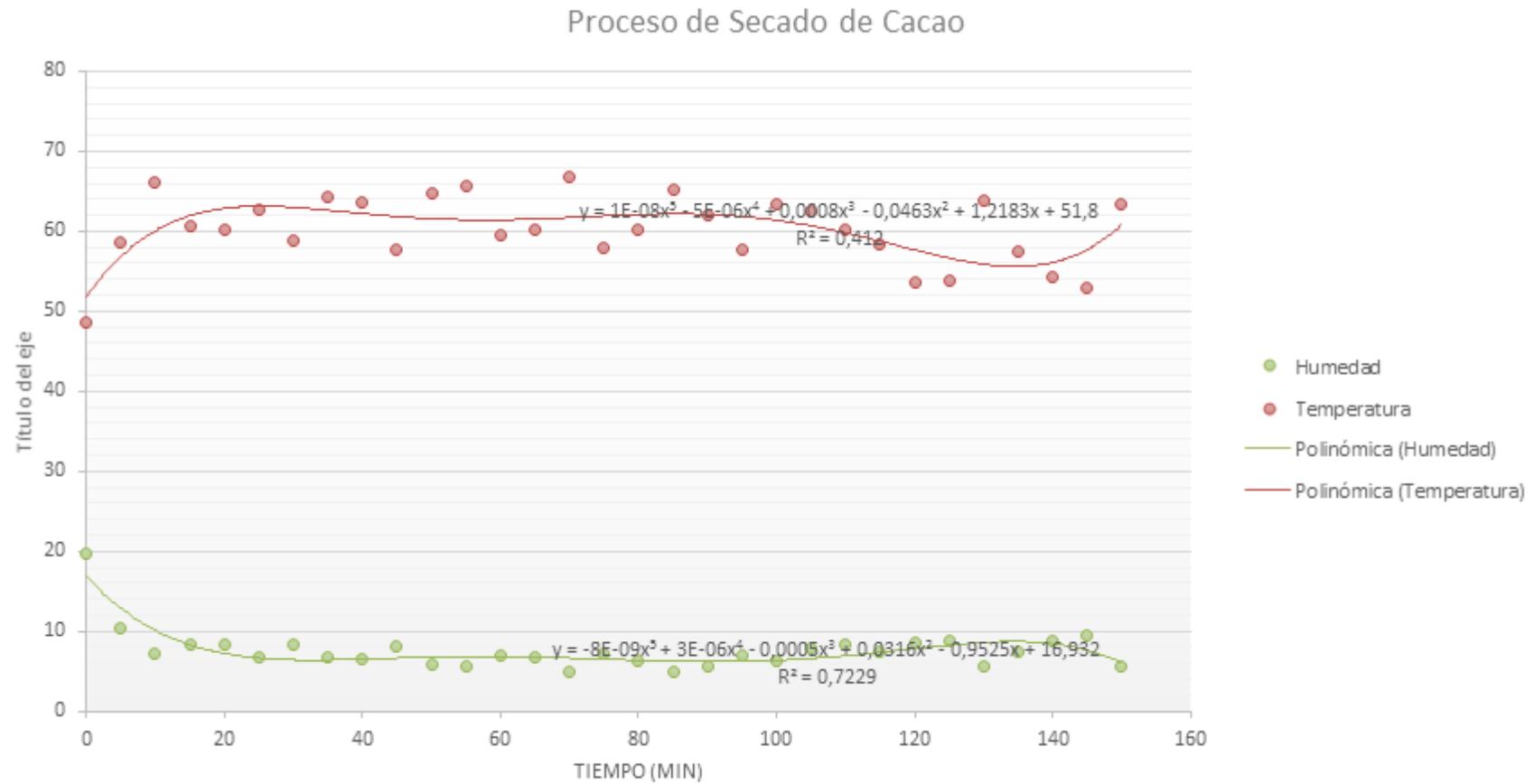


Figura 213 Datos de la prueba de 840 g en 2,5 h

El controlador con un set point de 60°C permitió que la temperatura del aire de secado se elevara cercana a los 70 °C; razón por la cual se experimentó con pruebas posteriores de cambiar el valor asignado de control.

Se observa que existe una menor variación en la temperatura, esto se debe a que en el proceso de deshumidificación del grano ocurre una constante transferencia de calor entre el que contiene el aire y el que posee el grano que siempre va a tender a un equilibrio.



**Figura 214** Peso de la muestra después del secado

Como se observa en la figura 215 el color de la almendra de cacao es café oscuro y tiene un tono naranja fuerte que no es el apropiado en término de secado, tiene un aroma ácido muy fuerte; razón por la cual por simple inspección no se ha realizado el proceso de manera adecuada.

**Tabla 54**  
*Resultados de la Prueba 1 de secado de cacao*

Peso Inicial	Peso Final	Humedad
[gr]	[gr]	[%]
<b>840</b>	<b>470</b>	<b>12</b>

▪ **Prueba 2: Carga 510 gr**

Con el mismo procedimiento de la prueba anterior se va a secar un total de 510 gr de cacao, el cual ha sido fermentado por dos métodos distintos un lapso de 5 días.

**Tabla 55**  
*Cacao a secar Prueba 2*

Tipo de Fermentación	En Saco o costal	En Caja de Laurel
<b>Fotografías</b>		
<b>Peso Inicial</b>	<b>240 gr</b>	<b>270 gr</b>

**Tabla 56**  
*Datos generales del secado Prueba 2*

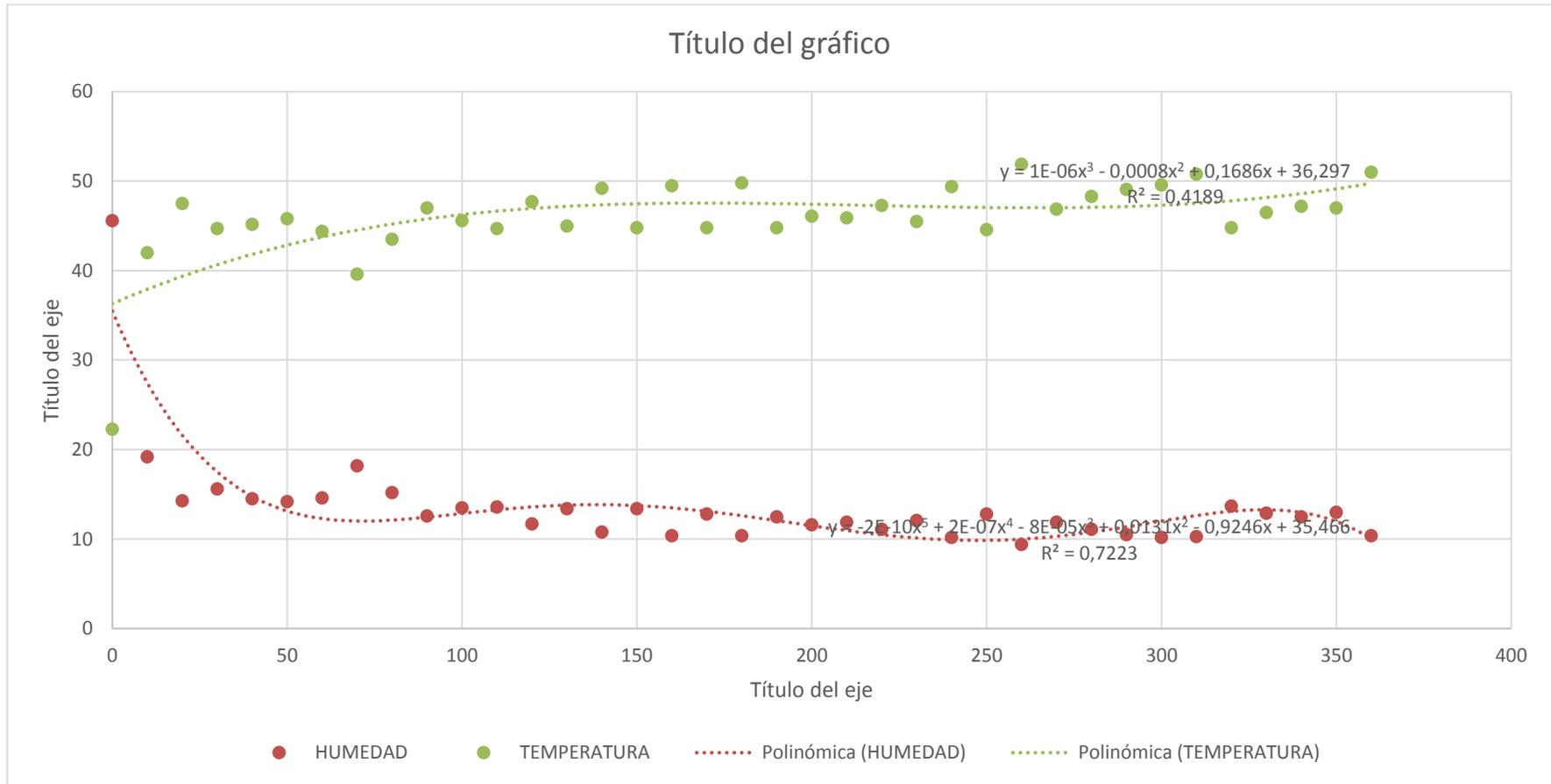
<b>Fecha de Realización</b>	<b>01/05/2015</b>
<b>Hora de Inicio</b>	14:15
<b>Hora de Finalización</b>	20:18
<b>Temperatura Inicial Cámara</b>	22.3 °C
<b>Humedad Inicial Cámara</b>	45.6 %



**Figura 215** Disposición de los granos en la bandeja

**Tabla 57**  
*Datos de humedad y temperatura prueba 1 de secado*

#	Tiempo	Humedad	Temperatura
	(min)	(%)	(°C)
1	0	45,6	22,3
2	10	19,2	42
3	20	14,3	47,5
4	30	15,6	44,7
5	40	14,5	45,2
6	50	14,2	45,8
7	60	14,6	44,4
8	70	18,2	39,6
9	80	15,2	43,5
10	90	12,6	47
11	100	13,5	45,6
12	110	13,6	44,7
13	120	11,7	47,7
14	130	13,4	45
15	140	10,8	49,2
16	150	13,4	44,8
17	160	10,4	49,5
18	170	12,8	44,8
19	180	10,4	49,8
20	190	12,5	44,8
21	200	11,6	46,1
22	210	11,9	45,9
23	220	11,1	47,3
24	230	12,1	45,5
25	240	10,2	49,4
26	250	12,8	44,6
27	260	9,4	51,9
28	270	11,9	46,9
29	280	11,1	48,3
30	290	10,5	49,1
31	300	10,2	49,6
32	310	10,3	50,8
33	320	13,7	44,8
34	330	12,9	46,5
35	340	12,5	47,2
36	350	13	47
37	360	10,4	51



**Figura 216 Datos de la prueba de 510 g en 6 h**

Después del período de 6 horas de secado por simple inspección se determina agradable aroma floral del grano, su coloración es café clara como se busca en el proceso.

El controlador fue asignado a una temperatura máxima de 45 °C, con lo cual se ascendió hasta 57°C; sin sobrepasar en ninguna parte del proceso la temperatura de 60 °C, como se recomienda.



**Figura 217 Disposición de los granos de cacao después de Prueba 2**



**Figura 218 Granos secos Prueba 2**

**Tabla 58**

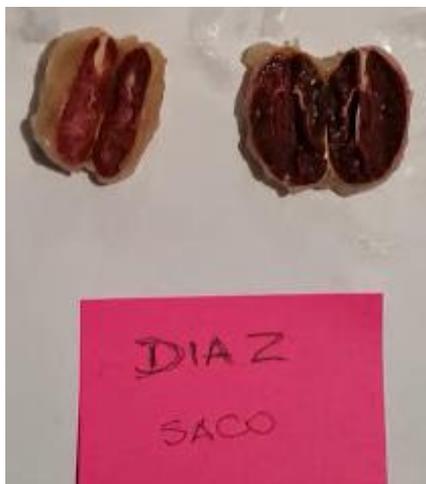
*Resultados de la Prueba 2 de secado de cacao*

Peso Inicial	Peso Final	Humedad
[gr]	[gr]	[%]
<b>510</b>	<b>270</b>	<b>9</b>

El resultado de humedad es alentador, en el proceso de secado se tiene una tolerancia de  $\pm 2\%$  con la humedad, que en este caso la óptima sería de 7%, sin embargo el proceso podría continuar con el fin de disminuir el margen de humedad que existe.

#### 5.5.4 Prueba de Calidad del Cacao.

- *Determinación del grado de fermentación.*



**Figura 219 Granos fermentados 2 días en saco**

Después de realizar una selección con la norma INEN 177 para muestreo de granos de cacao, se realizó mediante la prueba de agua.

Esta prueba se basa en el aprovechamiento de la densidad para la verificación del proceso de fermentación que ha sufrido la almendra.

##### Material Necesario

Probeta 2000 ml

Piseta

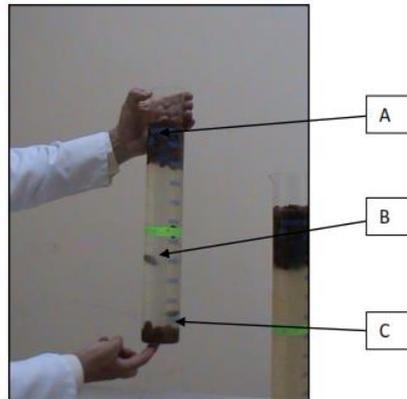
Espátula

15 granos de cacao

Agua Destilada tipo I

##### Procedimiento

- 1) Se vierten 400 ml de agua destilada tipo I en la probeta de 2000 ml.
- 2) Se dejan caer dentro de la probeta el total de la muestra de granos de cacao y se deja en reposo un tiempo total de 5 minutos, luego de lo cual se podrá distinguir la ubicación de los granos a lo largo de la probeta; como en la figura 217.



**Figura 220 Prueba de Agua**

**FUENTE: (Bravo & Mingo, 2011)**

Las almendras que no se sumergen en el fluido y se mantienen a flote en la superficie superior del fluido (posición A) en la figura 217, son aquellas que han llegado a una buena fermentación, los granos ubicados en la posición B, se consideran han sufrido un mediano proceso de fermentación y los que se ubican en el fondo del recipiente poseen una mínima fermentación. (Bravo & Mingo, 2011)

Inicialmente la prueba se realizó en una probeta de 250 ml, donde se visualiza más claramente la diferencia de la ubicación de las almendras, en el experimento ejecutado solamente existieron granos bien y mínimamente fermentados, sin obtener ninguno que se ubicara en el medio del recipiente.



**Figura 221 Prueba de agua probeta 250 ml**

Como parte consecutiva se realizó una prueba en una probeta de mayor volumen, en este caso 2000 ml, para lo cual se utilizaron 15 granos con un peso total de 27.3 gr.

**Tabla 59**  
*Resultados de la prueba de agua*

	EXP. 1	EXP. 2	TOTAL
<b>Total Granos</b>	8	7	15
<b>Bien Fermentados</b>	6	6	12
<b>Mal Fermentados</b>	2	1	3



**Figura 222 Prueba de agua**

Para obtener los resultados del porcentaje de fermentación de la carga total se procede a realizar el cálculo:

$$\%F = \frac{Nf \times 100}{Nt} \quad \text{Ec. 53}$$

$$\%F = 80\%$$

Donde:

$\%F$ : porcentaje de fermentación, [%]

$Nf$ : número de granos bien fermentados, 12

$Nt$ : número de granos de la muestra, 15

Se asigna entonces este porcentaje a la carga total de secado, se dice que las almendras están correctamente fermentadas en un 80%, que resulta un porcentaje bajo, ya que supone pérdidas en calidad de un 20% del total cosechado.

▪ **Porcentaje de cascarilla.**

Este procedimiento se realiza con el grano seco de cacao, es la relación del peso de la nuez con respecto a la testa. Cifra base para obtener el rendimiento del grano.

Material Necesario

Mortero de porcelana y pistilo

Pinzas

Balanza de precisión ( $\pm 0.1$  g)

Procedimiento

- 1) Una vez obtenido la almendra seca, con ayuda del pistilo y el mortero se muele la almendra y con ayuda de pinzas se retira la cascarilla del cotiledón.
- 2) Se pesa por separado tanto la cascarilla como la nuez.
- 3) Se realiza un promedio con la muestra tomada.



Figura 223 Cascarillas de 10 almendras de cacao

**Cálculo**

$$\%C = \frac{pc \times 100}{pt}$$

$$\%C = \%$$

**Ec. 54**

Donde:

$\%C$ : porcentaje de cascarilla, [%]

$pc$ : peso de cascarilla [gr]

$pt$ : peso total del grano [gr]

**Tabla 60**  
*Pesos de cascarillas en el grano de cacao*

#	Total	Cascarilla	Porcentaje
	[gr]	[gr]	[%]
<b>1</b>	1,6	0,2	12,50
<b>2</b>	1,9	0,2	10,53
<b>3</b>	2,4	0,2	8,33
<b>4</b>	3,1	0,2	6,45
<b>5</b>	2,6	0,2	7,69
<b>6</b>	2,4	0,1	4,17
<b>7</b>	2,0	0,2	10,00
<b>8</b>	2,2	0,2	9,09
<b>9</b>	1,7	0,1	5,88
<b>10</b>	2,9	0,2	6,90
<b>11</b>	2,6	0,2	7,69
<b>12</b>	2,4	0,2	8,33
<b>13</b>	1,6	0,1	6,25
<b>14</b>	3,0	0,2	6,67
<b>15</b>	2,8	0,2	7,14
<b>Prom.</b>	<b>2,35</b>	<b>0,18</b>	<b>7,84</b>

Este resultado permite una aproximación al cálculo del rendimiento de cacao, que toma en cuenta el porcentaje de cascarillas, de impurezas y de humedad final del grano para obtener un índice real del producto a esperar con una carga inicial conocida.

▪ *pH y acidez total titulable.*

La acidez y el pH son parámetros críticos en la calidad del cacao usado por el evaluador. El exceso de ácido acético producido por una mala fermentación causa efectos adversos sobre el sabor del chocolate. Un nivel alto de pH en los cotiledones es un indicativo de una sobre fermentación de la masa, la cual conduce a la formación de ácidos carboxílicos y amina biogénicas por descarboxilación enzimática de los correspondientes aminoácidos. (Álvarez, y otros, 2010)

Durante la fermentación, los ácidos acético y láctico son producidos por la degradación microbiana de la pulpa y difundidos hacia el interior del cotiledón aumentando los niveles de acidez, que se ven disminuidos durante el secado de los granos. (Álvarez, y otros, 2010)

En el laboratorio de Bioquímica del IASA se procede a realizar la medición del pH de los granos secos de cacao; por medio de un equipo especializado.

### Material Necesario

Medidor digital de pH, Hanna Instruments® HI223

Vaso de precipitación de 80 ml

Mortero y pistilo

Estilete

Piseta

Pinzas

Agua Destilada tipo I

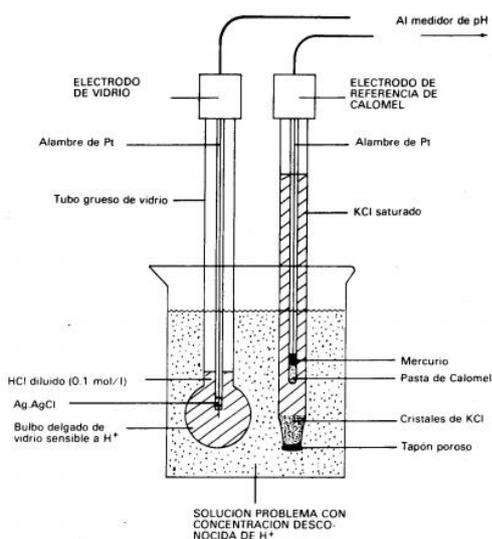
### Procedimiento (Bravo & Mingo, 2011)

- 1) Se comprueba la calibración del equipo de medición a través del uso de soluciones buffer, estas son sustancias que tienden a mantener el pH casi constante al agregarles pequeñas cantidades de ácidos o bases. (<http://alevazquez.com.ar/archivos/pdfs/buffer.pdf>)



**Figura 224 Soluciones buffer ácida, neutra y básica**

- 2) Se procede a hacer una incisión en el grano de cacao con el estilete para partirlo y se lo coloca en el mortero.
- 3) Se retira por medio de pinzas la cascarilla de recubrimiento de la almendra de cacao.
- 4) Con ayuda del pistilo se muele el grano de cacao agregándole con la piseta agua destilada, hasta obtener una pasta acuosa homogénea.
- 5) Se deja reposar la mezcla un lapso de 7 minutos y se procede a colocar el bulbo de cristal dentro de la mezcla, cuidando que este se encuentre totalmente sumergido.



**Figura 225 Sistema de electrodos para medición del pH**

**FUENTE:** (<http://www.bioquimica.dogsleep.net/Laboratorio/Plummer/Chp02.pdf>)



**Figura 226 Medición de pH del cacao**

El cacao para ser aceptado como un producto de calidad debe tener un pH mayor a 5.2; este valor tiene un rango de variación hasta 5.85 dependiendo del método de fermentación utilizado.

**Tabla 61**  
**Medición de pH en la muestra**

#	peso [gr]	pH
1	2	5,55
2	1,8	5,85
3	2,1	5,33
4	1,8	5,82
5	1,6	5,32
6	1,5	5,61
7	1,5	5,37
8	1,8	5,67
9	1,4	5,26
10	2,2	5,23
<b>PROM</b>	<b>1,77</b>	<b>5,501</b>

Se tiene entonces un cacao de calidad en cuanto a su evaluación de pH.

## CAPITULO VI

### ANALISIS ECONÓMICO FINANCIERO

Por medio de un análisis de parámetros se determina la viabilidad del proyecto denominado diseño y construcción de un secador de cacao para una aplicación agroindustrial, influyen entonces el costo del proyecto general y la oferta de compra del mismo que es de \$ 9000 por personas naturales interesadas en el proyecto.

#### 6.1 Análisis Financiero

En la realización de un análisis financiero se deben considerar aspectos fundamentales que determinarán la inversión total:

- Costos de Materiales Directos
- Costo de Mano de Obra Directa
- Costos Indirectos de Producción

**Tabla 62**  
*Descripción de Subsistemas según su referencia funcional*

#	Referencia Funcional	Subsistemas
1	Estructural	Cámara de secado
		Soporte de cámara
		Soporte tablero de control
		Ductos Entrada y Salida
		Cámara acondicionamiento
2	Tablero de Control	Estructura del Tablero
		Elementos de montaje
		Sistema de Control
		Sistema Eléctrico

### 6.1.1 Costos de Materiales Directos

En este concepto se detallan los materiales y equipos que han sido adquiridos para la implementación de la máquina acorde a subdivisión detallada en la tabla 62, agrupada en parte estructural y lo concerniente al gabinete de control.

**Tabla 63**  
*Detalle de elementos de la parte estructural*

#	Detalle	Cant	Costo Unitario	Total
1	Tubo Estructural Cuadrado (6m) 2" e=3 mm	2	25.09	50.18
2	Tubo Estructural Cuadrado (6m) 1/2" e=2 mm	3	8.11	24.33
3	Planchas de acero inoxidable 304 e=1.2 mm	6	127.06	762.38
4	Planchas de acero galvanizado e=1.1 mm	3	33.26	99.79
5	Lana de roca 1000x600x50mm	10	70.82	70.82
6	Rotor del Ventilador centrífugo diam=15 cm	1	98.35	98.35
7	Motor termorresistente	1	185.42	185.42
8	Vidrio cámara e=34 mm	1	56.25	56.25
9	Ruedas fijas diam=3"	2	9.90	19.80
10	Ruedas locas diam=3"	2	8.04	16.08
11	Malla acero inoxidable mesh#5 (1000x1000)	7.5	89.60	672.00
12	Ducto Flexible de aluminio 6m, diam=6"	1	29.74	29.74
13	Bisagras	2	5.86	11.72
14	Manija de seguro de puerta	1	3.28	3.28
15	Resistencias Eléctricas Inoxidable 2,5 KW	4	75.00	300
16	Acople oído de aspiración de doble entrada	1	22.00	22.00
17	Puerta de ingreso de aspiración del ventilador	1	25.36	25.36
18	Tornillos y Pernos	50 (+)	10.00	10.00
<b>Total Parcial 1</b>				<b>2457.50</b>

**Tabla 64**  
*Detalle de elementos del gabinete de control*

#	Detalle	Cant	Costo Unitario	Total
1	Plancha acero galvanizado e=1.1	1	33.26	33.26
2	Controlador fullgauge mt-530	1	90.00	90.00
3	Contactador 30A,220 Vac	4	20.00	80.00
4	Contactador 60A, 220 Vac	1	90.00	90.00
5	Horómetro digital	1	21.00	21.00
6	PLC Siemens Logo 230RC	1	177.00	177.00
7	Canaletas Ranuradas (6m)	1	14.56	14.56
8	Canaletas flexibles circulares	1	4.19	4.19
9	Breaker GE 63A	1	19.00	19.00
10	Relé 220 Vac	4	10.25	41.00
11	Borneras	7	0.86	6.00
12	Pulsador NO	5	6.40	32
13	Pulsador NC	5	6.40	32
14	Luz Piloto Verde	5	6.40	32
15	Selector 3 posiciones	1	14.00	14.00
16	Pulsador Tipo Hongo	1	3.60	3.60
17	Riel DIN	1	1.32	1.32
18	Amarras plásticas	8	0.12	0.96
19	Cable 18 AWG	20	0.20	4.00
20	Cable 10 AWG	16	2.30	36.80
21	Mecanismo piñón cremallera	1	20.00	20.00
22	Motor reductor 12Vdc	1	33.00	33.00
23	Fin de Carrera	2	2.80	5.60
24	Controlador	1	26.80	26.80
25	Driver	1	22.00	22.00
26	Cableado Termorresistente	4	1.96	7.84
<b>Total Parcial 2</b>				<b>784.37</b>

Resumiendo el costo total de los materiales directos, se tiene:

**Tabla 65**  
*Resumen costos de materiales directos*

#	Detalle	Costo Total
1	Estructura	2457.50
2	Gabinete de control	784.37
	Total Final	3241.87

### 6.1.2 Costos de Mano de Obra Directa

En este parámetro se describen los costos correspondientes a los pagos que se realizan a las personas que intervienen directamente en la construcción e implementación del proyecto, poniendo en práctica distintos procesos de manufactura.

**Tabla 66**  
*Descripción de Costo de Mano de Obra Directa*

Referencia	Personal	Cant	Costo Unitario	Costo Total
<b>Estructura</b>	Coordinador de obra	1	240	240
	Asistente	2	100	200
<b>Gabinete de Control</b>	Implementación del Tablero de Control	1	60	60
	Asistente	2	20	40
Total Costo				440

### 6.1.3 Costos Indirectos de Producción.

Este tipo de costos no están relacionados directamente con el producto, sin embargo es un concepto de importancia y tiene su influencia en el estudio económico.

#### 6.1.4 Materiales Indirectos

Son los costos tales como: energía eléctrica, combustibles, herramientas y repuestos. Elementos utilizados y requeridos en el proceso de manufactura de la máquina.

Se han realizado movilizaciones constantes para adquisición de materiales e inspección del proceso de manufactura, en las pruebas se consume una alta potencia por lo cual se incrementa el costo y la alimentación que se ha cubierto de manera ocasional tanto para el personal como para las gestoras del presente proyecto.

Por el rango de consumo eléctrico del taller STSing, se tiene una tarifa de 0.089 \$/KWh como costo explícito en su planilla eléctrica, tomando en cuenta que el proceso de secado consume por cálculos alrededor de 6.75 KWh por proceso de secado.

**Tabla 67**  
*Descripción de Costos de Materiales Indirectos*

#	Detalle	Costo
1	Combustible	60.00
2	Energía Eléctrica	32.04
3	Alimentación	80.00
	Total Costo	172.04

#### 6.1.5 Mano de Obra Indirecta

Son los costos generados por el personal que interviene de forma indirecta pero su labor es requerida para llevar a cabo de manera adecuada los procesos de diseño, construcción e implementación; en este rubro se consideran el equipo que realiza el trabajo de Ingeniería, en este intervienen los tesisistas, director, codirector y colaboradores profesionales.

También se debe tomar en cuenta el personal de supervisión, seguridad y departamento de control de calidad, entre otros.

Debido a políticas internas de la Escuela Politécnica del Ejército, los rubros por horas de tutorías destinadas al desarrollo de proyectos de grado cubiertos tanto por Director como Codirector están incluidos en el salario nominal de Servidores Públicos, debido a que la Universidad es Estatal. Razón por la cual no se consideran este tipo de costos en el análisis del proyecto.

### 6.1.6 Costos Totales del Proyecto

El presupuesto inicial del proyecto contempló un valor de \$4967.90, a continuación se detalla el costo total de la realización del mismo, se toman en cuenta los valores obtenidos en las tablas 65, 66 y 67.

**Tabla 68**  
*Descripción de Costo Total*

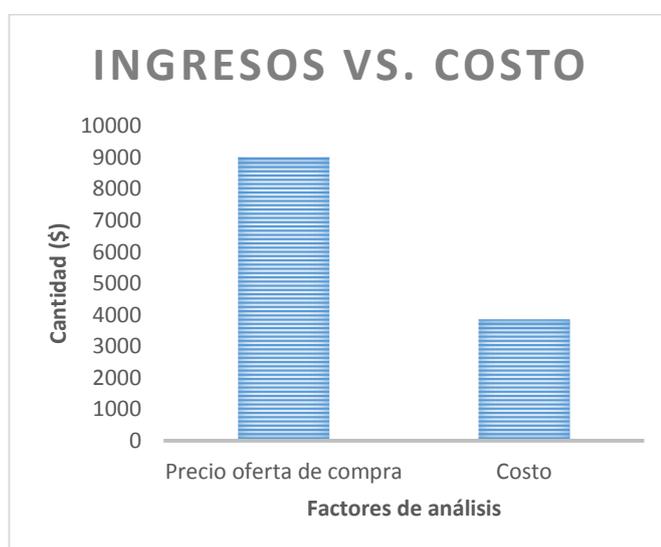
<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
<b>Costos Materiales Directos</b>	3241.87
<b>Costos Mano de Obra Directa</b>	440.00
<b>Costos Materiales Indirectos</b>	172.04
<b>Total</b>	<b>3853.91</b>

El presupuesto inicial que se realizó había tomado en cuenta la matriz energética que regía a mediados de 2014; debido a los cambios al finalizar el año y el impulso nacional a una cultura de seguridad energética, se redujo los gastos de implementación del sistema proyectado para ser utilizado con gas licuado de petróleo a un ahorro significativo proveniente de la obtención de energía calórica a través de resistencias eléctricas.

**Tabla 69**  
*Índice Costo Beneficio del Proyecto*

Descripción	Valor (\$)
<b>Oferta de Compra</b>	9000
<b>Total de Costos</b>	3853.91
<b>Índice B/C</b>	2.33

Por cada dólar de inversión, se obtiene una ganancia de \$1.33; por lo cual se concluye que es un proyecto rentable y por consiguiente factible a ser implementado.



**Figura 227 Costos vs. Ingresos**

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

- Se diseñó e implementó una máquina secadora de cacao que tras las pruebas de funcionamiento se verificó reducción en el tiempo de secado y las cualidades organolépticas como aroma y sabor son de alta calidad.
- Se optimiza el tiempo de secado en relación al necesario de manera natural, siendo este de 5 días en condiciones soleadas; con la secadora se requiere un total de 6,82 h (6 h 49 min).
- El contenido de pH que tiene un grano de alta calidad es de mínimo 5.2; como resultado se obtuvo pH promedio de 5.5; lo cual certifica la calidad del grano.
- Después de observar el comportamiento de la curva de temperatura se configuró al controlador en una temperatura de 45 °C, lo cual le permite alcanzar hasta los 59°C y asegura que no se alcance la temperatura máxima, sobre la cual se da la cocción del cotiledón.
- La humedad alcanzada en las pruebas de funcionamiento es de 9%, lo cual se admite en el rango de tolerancia de  $\pm 2\%$  frente a la humedad final ideal del 7%.
- Para el diseño de la máquina de secado resulta indispensable definir su locación final, ya que parámetros como temperatura, presión y humedad son determinantes en el desarrollo de un diseño térmico optimizado para la aplicación específica.
- Por medio de herramientas como el despliegue de la función de calidad (QFD) se puede interpretar los requerimientos del cliente a la voz del ingeniero, es decir fijar los parámetros técnicos a tomar en cuenta para cumplir con la necesidad del interesado.
- Las herramientas de software CAD nos permiten virtualizar los modelos como fase previa a su construcción, se utilizó SolidWorks para tareas de simulación estática y distribución de flujo.

- El uso del diseño concurrente permite diseñar de manera simultánea la estructura mecánica, el sistema eléctrico/electrónico y de control; en este caso se inicia el dimensionamiento a través del diseño térmico tomando en cuenta ciclos termodinámicos y de transferencia de calor.
- El cacao es un producto sensible a las perturbaciones como agentes contaminantes, excesiva temperatura y altas velocidades de distribución de aire, razón por la cual la selección de materiales no debe tener reparos en la inversión a realizar en los elementos que se encuentran en contacto directo con el grano y su cauteloso dimensionamiento.

## 7.2 Recomendaciones

- Ya que se utiliza un controlador ON/OFF el rango de variación de temperatura llega hasta los 14 °C, razón por la cual se debe asignar el valor de control el 45 °C; es aconsejable utilizar un tipo de controlador de temperatura que tenga un rango reducido de error.
- Antes de implementar el sistema de control se debe tener un conocimiento completo de las variables a controlar para poder una solución óptima con recursos como dispositivos que se ajusten a los requerimientos.
- Asumir responsablemente los cambios direccionados a la realidad energética actual del país y realizar un estudio que permita una optimización y ahorro energético a futuro.
- El mantenimiento preventivo con una frecuencia de dos veces por año promedio permitirá extender la vida útil de la máquina implementada.

## BIBLIOGRAFÍA

- (s.f.). Obtenido de  
[http://www.gosur.com/map/?satellite=1&awid=183914436&gclid=CjwKEAjw4PCfBRCz966N9pvJ4GASJAAEdM\\_KiVey3-TFCcVzhJhCfXHw34cJvfH4tumqPBR5Tgt13BoCZ4Tw\\_wcB#](http://www.gosur.com/map/?satellite=1&awid=183914436&gclid=CjwKEAjw4PCfBRCz966N9pvJ4GASJAAEdM_KiVey3-TFCcVzhJhCfXHw34cJvfH4tumqPBR5Tgt13BoCZ4Tw_wcB#)
- (s.f.).  
<http://www.jivacubes.com/wp-content/uploads/2013/08/cacaobeancomparison.jpg>.  
 (s.f.). págs. <http://www.jivacubes.com/wp-content/uploads/2013/08/cacaobeancomparison.jpg>.
- <http://www.ruukki.es/~media/Spain/Files/ES%20technical%20brochures/Ruukki-Procesamiento-del-acero-laminado-en-caliente-Corte-mecanico.pdf>. (s.f.).  
<http://www.ruukki.es/~media/Spain/Files/ES%20technical%20brochures/Ruukki-Procesamiento-del-acero-laminado-en-caliente-Corte-mecanico.pdf>.
- Álvarez, C., Tovar, L., García, H., Morillo, F. S., Girón, C., & De Farias, A. (2010). *Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao utilizando dos tipos de fermentadores*. Miranda: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- (2006). *Atlas de cacao*.
- Bravo, N., & Mingo, F. (2011). *VALORACIÓN DE TRES MÉTODOS DE FERMENTACIÓN Y SECADO PARA MEJORAR LA CALIDAD Y RENTABILIDAD DEL CACAO FINO DE AROMA (Theobroma cacao L.) EN LA PARROQUIA PANGUINTZA DEL CANTÓN CENTINELA DEL CÓNDOR, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Cengel, Y. (2011). *Cartas Psicométricas SI*.
- Corvalan, R., Horn, M., Roman, R., & Saravia, L. (2000). *Ingeniería del Secador Solar*. Chile.
- Creative Industries Research Institute. (2011). *Quality Function Deployment*.
- DOI:, P. K. (2010). (Burlington:Elsevier, Ed.) doi:10.1016/b978-0-12-384677-8.00005-9
- EEQ, P. T. (s.f.). [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com). Obtenido de [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
- Enríquez, G. (1995). *Beneficio del Cacao*. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Enriquez, G. (2010). *Cacao Orgánico*. Quito: INIAP-segunda edición.
- Erazo Guerrero, O. (2008). *Procesos de Manufactura en Ingeniería Industrial*.
- ESPE. (2014). *Reporte Final Malanga*.

- Fierro, M. (1990). *Diseño Térmico de un Secador de Cacao tipo plataforma*. Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral.
- Guachamín Velásquez, C. (2010). *Diseño de un secador de granos de cacao fino*.
- Hernández, R. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill.
- [http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2012/SP\\_02\\_Gestion\\_de\\_Operaciones\\_y\\_Produccion/919-926.pdf](http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2012/SP_02_Gestion_de_Operaciones_y_Produccion/919-926.pdf). (s.f.).  
[http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2012/SP\\_02\\_Gestion\\_de\\_Operaciones\\_y\\_Produccion/919-926.pdf](http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2012/SP_02_Gestion_de_Operaciones_y_Produccion/919-926.pdf).
- <http://agricultura-tropical-ecuador.blogspot.com/2010/11/condiciones-de-clima-y-suelo-para-el.html>. (s.f.). Obtenido de <http://agricultura-tropical-ecuador.blogspot.com/2010/11/condiciones-de-clima-y-suelo-para-el.html>
- <http://cacaoplus.weebly.com/artiacuteculos-teacutecnicos.html>. (s.f.). págs.  
<http://cacaoplus.weebly.com/artiacuteculos-teacutecnicos.html>.
- <http://chocolatechapin.globered.com/categoria.asp?idcat=45>. (s.f.). Obtenido de <http://chocolatechapin.globered.com/categoria.asp?idcat=45>
- <http://ecuadorcostaaventura.com/cacao.html>. (s.f.). Obtenido de <http://ecuadorcostaaventura.com/cacao.html>
- <http://ecuadorcostaaventura.com/cacao.html>. (s.f.). Obtenido de <http://ecuadorcostaaventura.com/cacao.html>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Reloj\\_comparador#/media/File:FingerTestIndicator513-404.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_comparador#/media/File:FingerTestIndicator513-404.jpg). (s.f.). Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Reloj\\_comparador#/media/File:FingerTestIndicator513-404.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_comparador#/media/File:FingerTestIndicator513-404.jpg)
- [http://historias6b.blogspot.com/2012/06/normal-0-21-false-false-false-es-ve-x\\_5926.html](http://historias6b.blogspot.com/2012/06/normal-0-21-false-false-false-es-ve-x_5926.html). (s.f.). págs. [http://historias6b.blogspot.com/2012/06/normal-0-21-false-false-false-es-ve-x\\_5926.html](http://historias6b.blogspot.com/2012/06/normal-0-21-false-false-false-es-ve-x_5926.html).
- [http://i00.i.aliimg.com/photo/v0/542719354/2\\_or\\_3\\_position\\_selector\\_switch\\_rotary.jpg](http://i00.i.aliimg.com/photo/v0/542719354/2_or_3_position_selector_switch_rotary.jpg). (s.f.). Obtenido de [http://i00.i.aliimg.com/photo/v0/542719354/2\\_or\\_3\\_position\\_selector\\_switch\\_rotary.jpg](http://i00.i.aliimg.com/photo/v0/542719354/2_or_3_position_selector_switch_rotary.jpg)
- <http://lat.wsj.com/articles/SB10001424052702303404704577312253147649784>. (s.f.). Obtenido de <http://lat.wsj.com/articles/SB10001424052702303404704577312253147649784>
- [http://mco-s1-p.mlstatic.com/controlador-de-temperatura-y-humedad-mt530-super-full-gauge-1214-MCO18729303\\_5992-F.jpg](http://mco-s1-p.mlstatic.com/controlador-de-temperatura-y-humedad-mt530-super-full-gauge-1214-MCO18729303_5992-F.jpg). (s.f.). Obtenido de [http://mco-s1-p.mlstatic.com/controlador-de-temperatura-y-humedad-mt530-super-full-gauge-1214-MCO18729303\\_5992-F.jpg](http://mco-s1-p.mlstatic.com/controlador-de-temperatura-y-humedad-mt530-super-full-gauge-1214-MCO18729303_5992-F.jpg)

- <http://mejoreslinks.masdelaweb.com/pulsadores-de-marcha-y-paro/>. (s.f.).  
<http://mejoreslinks.masdelaweb.com/pulsadores-de-marcha-y-paro/>.
- [http://mlv-s1-p.mlstatic.com/lampara-piloto-luz-led-16m-12vdc-carro-moto-tablero-cabudare-20385-MLV20189374135\\_112014-O.jpg](http://mlv-s1-p.mlstatic.com/lampara-piloto-luz-led-16m-12vdc-carro-moto-tablero-cabudare-20385-MLV20189374135_112014-O.jpg). (s.f.). Obtenido de  
[http://mlv-s1-p.mlstatic.com/lampara-piloto-luz-led-16m-12vdc-carro-moto-tablero-cabudare-20385-MLV20189374135\\_112014-O.jpg](http://mlv-s1-p.mlstatic.com/lampara-piloto-luz-led-16m-12vdc-carro-moto-tablero-cabudare-20385-MLV20189374135_112014-O.jpg)
- [http://revistazonacentro.com/?os\\_zonas=produciendo-cacao-de-forma-organica-y-siendo-parte-del-comercio-justo](http://revistazonacentro.com/?os_zonas=produciendo-cacao-de-forma-organica-y-siendo-parte-del-comercio-justo). (s.f.). Obtenido de  
[http://revistazonacentro.com/?os\\_zonas=produciendo-cacao-de-forma-organica-y-siendo-parte-del-comercio-justo](http://revistazonacentro.com/?os_zonas=produciendo-cacao-de-forma-organica-y-siendo-parte-del-comercio-justo)
- <http://ricardomogollon.skyrock.com/2533102579-tablero-electrico-de-control-con-plc-siemens.html>. (s.f.). Obtenido de  
<http://ricardomogollon.skyrock.com/2533102579-tablero-electrico-de-control-con-plc-siemens.html>
- <http://spanish.drying-equipments.com/sale-2343315-ct-c-ib-thermal-stable-aluminium-alloy-hot-air-circulating-oven-with-high-heat-efficiency.html>. (s.f.). Obtenido de <http://spanish.drying-equipments.com/sale-2343315-ct-c-ib-thermal-stable-aluminium-alloy-hot-air-circulating-oven-with-high-heat-efficiency.html>
- [http://tecnocienciaalimentaria.blogspot.com/2014\\_07\\_01\\_archive.html](http://tecnocienciaalimentaria.blogspot.com/2014_07_01_archive.html). (s.f.).  
 Obtenido de  
[http://tecnocienciaalimentaria.blogspot.com/2014\\_07\\_01\\_archive.html](http://tecnocienciaalimentaria.blogspot.com/2014_07_01_archive.html)
- <http://teii.com.mx/bancos-resistencias.html>. (s.f.). Obtenido de  
<http://teii.com.mx/bancos-resistencias.html>
- [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Centrifugal\\_fan.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Centrifugal_fan.gif). (s.f.).  
 Obtenido de  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Centrifugal\\_fan.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Centrifugal_fan.gif)
- <http://www.bioquimica.dogsleep.net/Laboratorio/Plummer/Chp02.pdf>. (s.f.).  
 Obtenido de  
<http://www.bioquimica.dogsleep.net/Laboratorio/Plummer/Chp02.pdf>
- [http://www.bulonquilmes.com/\\_gUpload/productos/2410.jpg](http://www.bulonquilmes.com/_gUpload/productos/2410.jpg). (s.f.). Obtenido de  
[http://www.bulonquilmes.com/\\_gUpload/productos/2410.jpg](http://www.bulonquilmes.com/_gUpload/productos/2410.jpg)
- <http://www.calvoselectronica.com/horometros/269-horametro-8-dagitos-bateraa-interna-24x48mm-le8nbf.html>. (s.f.). Obtenido de  
<http://www.calvoselectronica.com/horometros/269-horametro-8-dagitos-bateraa-interna-24x48mm-le8nbf.html>
- <http://www.canacacao.org/galeria/cultivos/album/9>. (s.f.). Obtenido de  
<http://www.canacacao.org/galeria/cultivos/album/9>

- <http://www.cenicafe.org/es/publications/lib37751.pdf>. (s.f.). Obtenido de <http://www.cenicafe.org/es/publications/lib37751.pdf>
- <http://www.cocoafederation.com/issues/fumigation/LINKkrepfor10cd.pdf>. (s.f.). Obtenido de <http://www.cocoafederation.com/issues/fumigation/LINKkrepfor10cd.pdf>
- <http://www.diamore.com.ar/Blindadas.html>. (s.f.). Obtenido de <http://www.diamore.com.ar/Blindadas.html>
- <http://www.directindustry.es/prod/wayne-combustion-systems/quemador-gas-21961-50001.html>. (s.f.). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/wayne-combustion-systems/quemador-gas-21961-50001.html>
- [http://www.flordebaba.com/NORMA\\_T%C3%89CNICA\\_ECUATORIANA\\_NTE\\_INEN\\_176\\_y\\_177.pdf](http://www.flordebaba.com/NORMA_T%C3%89CNICA_ECUATORIANA_NTE_INEN_176_y_177.pdf). (s.f.). pág. [http://www.flordebaba.com/NORMA\\_T%C3%89CNICA\\_ECUATORIANA\\_NTE\\_INEN\\_176\\_y\\_177.pdf](http://www.flordebaba.com/NORMA_T%C3%89CNICA_ECUATORIANA_NTE_INEN_176_y_177.pdf).
- [http://www.flordebaba.com/NORMA\\_T%C3%89CNICA\\_ECUATORIANA\\_NTE\\_INEN\\_176\\_y\\_177.pdf](http://www.flordebaba.com/NORMA_T%C3%89CNICA_ECUATORIANA_NTE_INEN_176_y_177.pdf). (s.f.). Obtenido de [http://www.flordebaba.com/NORMA\\_T%C3%89CNICA\\_ECUATORIANA\\_NTE\\_INEN\\_176\\_y\\_177.pdf](http://www.flordebaba.com/NORMA_T%C3%89CNICA_ECUATORIANA_NTE_INEN_176_y_177.pdf)
- <http://www.fullgauge.com/es/manual-del-producto-40>. (s.f.). Obtenido de <http://www.fullgauge.com/es/manual-del-producto-40>
- <http://www.fullgauge.com/es/manual-del-producto-40>. (s.f.). Obtenido de <http://www.fullgauge.com/es/manual-del-producto-40>
- <http://www.fundesyram.info/biblioteca/displayFicha.php?fichaID=3187>. (s.f.). Obtenido de <http://www.fundesyram.info/biblioteca/displayFicha.php?fichaID=3187>
- [http://www.gosur.com/map/?satellite=1&awid=183914436&gclid=CjwKEAjw4PCfBRCz966N9pvJ4GASJAAEdM\\_KiVey3-TFCcVzhJhCfXHw34cJvfH4tumqPBR5Tgt13BoCZ4Tw\\_wcB#](http://www.gosur.com/map/?satellite=1&awid=183914436&gclid=CjwKEAjw4PCfBRCz966N9pvJ4GASJAAEdM_KiVey3-TFCcVzhJhCfXHw34cJvfH4tumqPBR5Tgt13BoCZ4Tw_wcB#). (s.f.). Obtenido de [http://www.gosur.com/map/?satellite=1&awid=183914436&gclid=CjwKEAjw4PCfBRCz966N9pvJ4GASJAAEdM\\_KiVey3-TFCcVzhJhCfXHw34cJvfH4tumqPBR5Tgt13BoCZ4Tw\\_wcB#](http://www.gosur.com/map/?satellite=1&awid=183914436&gclid=CjwKEAjw4PCfBRCz966N9pvJ4GASJAAEdM_KiVey3-TFCcVzhJhCfXHw34cJvfH4tumqPBR5Tgt13BoCZ4Tw_wcB#)
- [http://www.infoagro.com/riegos/control\\_riego\\_y\\_fertilizacion.htm](http://www.infoagro.com/riegos/control_riego_y_fertilizacion.htm). (s.f.). Obtenido de [http://www.infoagro.com/riegos/control\\_riego\\_y\\_fertilizacion.htm](http://www.infoagro.com/riegos/control_riego_y_fertilizacion.htm)
- <http://www.inforegion.pe/portada/130835/construccion-de-modulos-para-atender-cacao-marcha-sin-contratiempos/>. (s.f.). Obtenido de <http://www.inforegion.pe/portada/130835/construccion-de-modulos-para-atender-cacao-marcha-sin-contratiempos/>

- <http://www.insystems-shop.de/media/images/org/Art6ED1052-1FB00-0BA6.jpg>. (s.f.). Obtenido de <http://www.insystems-shop.de/media/images/org/Art6ED1052-1FB00-0BA6.jpg>
- [http://www.ipac-acero.com/assets/img/upload/big/CatalogoIPAC\\_11.pdf](http://www.ipac-acero.com/assets/img/upload/big/CatalogoIPAC_11.pdf). (s.f.). Obtenido de [http://www.ipac-acero.com/assets/img/upload/big/CatalogoIPAC\\_11.pdf](http://www.ipac-acero.com/assets/img/upload/big/CatalogoIPAC_11.pdf)
- <http://www.kersting.cl/SwProductos.aspx?CodProd=5371200&SubGrupo=4&Grupo=12&SubSubGrupo=1>. (s.f.). Obtenido de <http://www.kersting.cl/SwProductos.aspx?CodProd=5371200&SubGrupo=4&Grupo=12&SubSubGrupo=1>
- [http://www.ledcontrols.com.mx/i/c/4c6c0913ebc73\\_horometro.jpg](http://www.ledcontrols.com.mx/i/c/4c6c0913ebc73_horometro.jpg). (s.f.). Obtenido de [http://www.ledcontrols.com.mx/i/c/4c6c0913ebc73\\_horometro.jpg](http://www.ledcontrols.com.mx/i/c/4c6c0913ebc73_horometro.jpg)
- <http://www.loweindustrial.com/lanamineral.html>. (s.f.). Obtenido de <http://www.loweindustrial.com/lanamineral.html>
- <http://www.machines4world.com/es/anuncios/ver/soldadura-electrica-gala-mig-260/254>. (s.f.). Obtenido de <http://www.machines4world.com/es/anuncios/ver/soldadura-electrica-gala-mig-260/254>
- <http://www.mahezasa.es/fichas/ocasion/soldaduras/SOLDADURA-GAR-GALAMIG260-05792.JPG>. (s.f.). Obtenido de <http://www.mahezasa.es/fichas/ocasion/soldaduras/SOLDADURA-GAR-GALAMIG260-05792.JPG>
- <http://www.multigroup.com.gt/?PAGE=17&PRODUCT=8>. (s.f.). <http://www.multigroup.com.gt/?PAGE=17&PRODUCT=8>.
- <http://www.mx.all.biz/cilindros-para-gas-lp-g15078>. (s.f.). Obtenido de <http://www.mx.all.biz/cilindros-para-gas-lp-g15078>
- <http://www.ndu.cl/pulsador-plano-verde-contacto-modular-1na-%C3%B822mm-2>. (s.f.). Obtenido de <http://www.ndu.cl/pulsador-plano-verde-contacto-modular-1na-%C3%B822mm-2>
- <http://www.prodinc.com.mx/productos/equipo%20iec/catalogoiec2010.pdf>. (s.f.). Obtenido de <http://www.prodinc.com.mx/productos/equipo%20iec/catalogoiec2010.pdf>
- <http://www.quimicayalgomas.com/wp-content/uploads/2011/05/acido-base.gif>. (s.f.). Obtenido de <http://www.quimicayalgomas.com/wp-content/uploads/2011/05/acido-base.gif>
- [http://www.rele.it/img/main\\_photo.jpg](http://www.rele.it/img/main_photo.jpg). (s.f.). Obtenido de [http://www.rele.it/img/main\\_photo.jpg](http://www.rele.it/img/main_photo.jpg)

<http://www.rexel.cl/ecommerce/img/p/2592-1928-large.jpg>. (s.f.). Obtenido de <http://www.rexel.cl/ecommerce/img/p/2592-1928-large.jpg>

[http://www.rockwool-searox.com/products/u/2011.product/19003/firesafe-insulation/searox-sl-640-\(marine-firebatts-130\)](http://www.rockwool-searox.com/products/u/2011.product/19003/firesafe-insulation/searox-sl-640-(marine-firebatts-130)). (s.f.). Obtenido de [http://www.rockwool-searox.com/products/u/2011.product/19003/firesafe-insulation/searox-sl-640-\(marine-firebatts-130\)](http://www.rockwool-searox.com/products/u/2011.product/19003/firesafe-insulation/searox-sl-640-(marine-firebatts-130))

<http://www.ruedasygarruchas.com/Guia.html>. (s.f.). Obtenido de <http://www.ruedasygarruchas.com/Guia.html>

<http://www.serviciometeorologico.gob.ec/mapas-climaticos/>. (s.f.). Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/mapas-climaticos/>

<http://www.serviciometeorologico.gob.ec/mapas-climaticos/>. (s.f.). Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/mapas-climaticos/>

[http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/ceniaphoy/articulos/n5/arti/rliendo2.htm](http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n5/arti/rliendo2.htm). (s.f.). Obtenido de [http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/ceniaphoy/articulos/n5/arti/rliendo2.htm](http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n5/arti/rliendo2.htm)

[http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf). (s.f.). Obtenido de [http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf)

<http://www.upnfm.edu.hn/bibliod/images/stories/xttindustrial/libros%20de%20electricidad/Controles%20Electromecanicos/CONTACTORES%20Y%20ACTUADORES.pdf>. (s.f.). Obtenido de <http://www.upnfm.edu.hn/bibliod/images/stories/xttindustrial/libros%20de%20electricidad/Controles%20Electromecanicos/CONTACTORES%20Y%20ACTUADORES.pdf>

<http://www.winters.com/PDF/wintfullprodcatsp.pdf>. (s.f.). Obtenido de <http://www.winters.com/PDF/wintfullprodcatsp.pdf>

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82567/v1/Logo\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf). (s.f.). Obtenido de [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82567/v1/Logo\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf)

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82567/v1/Logo\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf). (s.f.). Obtenido de [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82567/v1/Logo\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf)

<https://www.plcmarkt.com/tiendav/111-235-thickbox/contactador-3-polos-9a-tension-de-bobina-24vac.jpg>. (s.f.). Obtenido de <https://www.plcmarkt.com/tiendav/111-235-thickbox/contactador-3-polos-9a-tension-de-bobina-24vac.jpg>

[https://www.testo.com.ar/detalles\\_productos/0572+1765/testo-176-H1-Datalogger-de-humedad-y-temperatura-con-canales-externos-para-sondas-cableadas](https://www.testo.com.ar/detalles_productos/0572+1765/testo-176-H1-Datalogger-de-humedad-y-temperatura-con-canales-externos-para-sondas-cableadas). (s.f.). Obtenido de [https://www.testo.com.ar/detalles\\_productos/0572+1765/testo-176-H1-Datalogger-de-humedad-y-temperatura-con-canales-externos-para-sondas-cableadas](https://www.testo.com.ar/detalles_productos/0572+1765/testo-176-H1-Datalogger-de-humedad-y-temperatura-con-canales-externos-para-sondas-cableadas)

<https://www.voltech.com.mx/cables.php>. (s.f.). Obtenido de <https://www.voltech.com.mx/cables.php>

Indura S.A. (2013). Sistema MIG Sólido. *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*, 82-85.

INEN. (1986). NTE INEN 173 Cacao en Grano Determinación de la Humedad. *Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria y Emergente*.

*Journal of Engineering and Applied Sciences* . (s.f.). doi:7(2):194-197, 2012Ñ;

MAGAP, SINAGAP. (2013). *Superficie Sembrada y Cosechada de cacao en Santo Domingo de los Tsáchilas*.

MAGAP, SINAGRO, INEC, ESPAC. (2010).

Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico . (2012).

Naranjo, C. (2006). *Folleto de procesos de Manufactura I*. Quito.

- Osborne, W., & Turner, C. (1970). *Guía Práctica de la Ventilación*. Barcelona: GERSA.
- Pallás, R., & Webster, J. (2001). *Sensors and Signal Conditioning*. New York: Wiley Interscience Publication.
- Pitts, D., & Sissom, L. (2004). *Transferencia de Calor*.
- Piza, R. P. (2009). *La Calidad del Cacao*. Quito: Camaren.
- Prabhakaran, K. P. (2010). *The Agronomy and Economy of important tree crops of the developing World*. doi:10.1016/b978-0-12-384677-8.00005-9
- PROECUADOR. (s.f.). <http://www.proecuador.gob.ec/compradores/oferta-exportable/cacao-y-elaborados/>.
- Roldán, J. (2002). *Automatismos y Cuadros Eléctricos*. Madrid: Thompsom.
- Siguencia, J. (2013). *Evaluación de un Secador Solar Inclinado Absorbedor de Zeolita para Granos de Cacao*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Vargas, E., & Garzón, F. (2010). *Montaje y puesta en marcha de un secador por lotes semiautomático de bandejas por aire caliente*. Bogotá: Ingeniería e Investigación. Recuperado el Abril de 2015
- Vera, J. (1993). *Manual de cultivo de Cacao*. INIAP- Estación Experimental Pichinlingue.
- [www.dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902786.pdf](http://www.dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902786.pdf). (s.f.). Obtenido de [www.dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902786.pdf](http://www.dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902786.pdf)
- [www.hotfrog.com.mx/Companies/Thermosuministros-Industriales-de-M%25C3%25A9xico&h](http://www.hotfrog.com.mx/Companies/Thermosuministros-Industriales-de-M%25C3%25A9xico&h). (s.f.). Obtenido de [www.hotfrog.com.mx/Companies/Thermosuministros-Industriales-de-M%25C3%25A9xico&h](http://www.hotfrog.com.mx/Companies/Thermosuministros-Industriales-de-M%25C3%25A9xico&h)
- [www.inmaelectro.com/filesproductos/ProductosJulio/2011Agosto16\\_100344\\_galeria\\_6049ad.jpg](http://www.inmaelectro.com/filesproductos/ProductosJulio/2011Agosto16_100344_galeria_6049ad.jpg). (s.f.). Obtenido de [www.inmaelectro.com/filesproductos/ProductosJulio/2011Agosto16\\_100344\\_galeria\\_6049ad.jpg](http://www.inmaelectro.com/filesproductos/ProductosJulio/2011Agosto16_100344_galeria_6049ad.jpg)
- [www.reymann.com.br/resistencias-eletricas/wp-content/uploads/2013/02](http://www.reymann.com.br/resistencias-eletricas/wp-content/uploads/2013/02). (s.f.). Obtenido de [www.reymann.com.br/resistencias-eletricas/wp-content/uploads/2013/02](http://www.reymann.com.br/resistencias-eletricas/wp-content/uploads/2013/02)
- [www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP\\_YGP\\_CHAP\\_II.pdf](http://www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP_YGP_CHAP_II.pdf). (s.f.). Obtenido de [www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP\\_YGP\\_CHAP\\_II.pdf](http://www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP_YGP_CHAP_II.pdf)
- [www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP\\_YGP\\_CHAP\\_II.pdf](http://www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP_YGP_CHAP_II.pdf). (s.f.). Obtenido de [www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP\\_YGP\\_CHAP\\_II.pdf](http://www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP_YGP_CHAP_II.pdf)

*www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP\_YGP\_CHAP\_II.pdf*. (s.f.).  
Obtenido de *www.yourglass.com/agc-glass-europe/es/es/.../SP\_YGP\_CHAP\_II.pdf*

## ANEXOS

### A1. Manual de Funcionamiento

1. Cargar las bandejas con almendras de cacao previamente fermentadas máximo hasta el borde del mallado interno.
2. Verificar que el voltaje de la toma para alimentación que se disponga se de 220 Vac.
3. Comprobar que el breaker principal BR1 se encuentre con su mando manual activo (palanca hacia arriba).
4. Presionar el botón verde ON de activación del sistema.
5. Elegir con el selector si se desea mando manual o automático.
6. Si seleccionó manual, usted debe activar según corresponda los mandos del proceso; es decir:

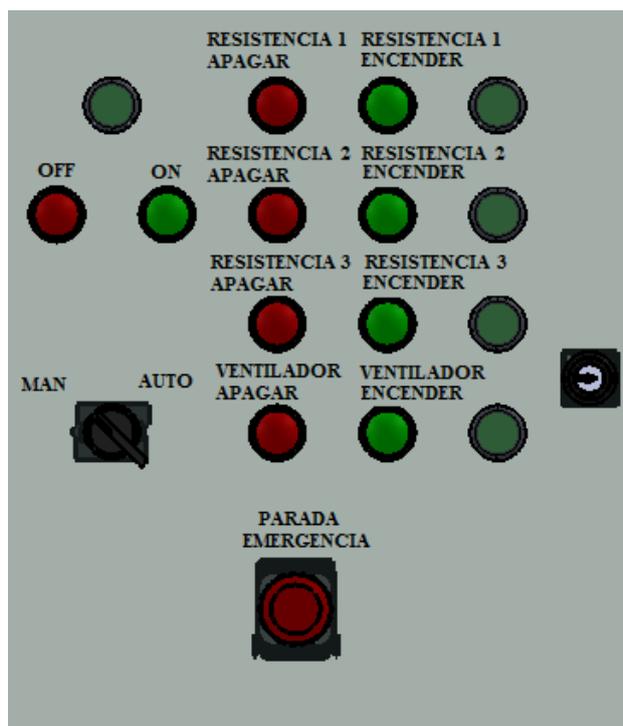


Figura 228 Esquema de la botonera de control

- Si desea prender el primer juego de resistencias, presiona RESISTENCIA 1 ENCENDER; para apagar pulsará RESISTENCIA 1 APAGAR.

- Si desea prender el segundo juego de resistencias, presiona RESISTENCIA 2 ENCENDER; para apagar pulsará RESISTENCIA 2 APAGAR.
  - Si desea prender el tercer juego de resistencias, presiona RESISTENCIA 3 ENCENDER; para apagar pulsará RESISTENCIA 3 APAGAR.
  - Si desea prender el ventilador, presiona VENTILADOR ENCENDER; para apagar pulsará VENTILADOR APAGAR.
7. Si seleccionó automático, el proceso iniciará con un juego de resistencias y el ventilador encendido, después de dos horas se accionará el segundo juego y después de tres horas el tercer juego; acorde con el tiempo preestablecido según la carga máxima para la que fue diseñado (100 kg).
8. El proceso de control de temperatura y humedad del aire es automático, por lo que no es necesario manipular el controlador. En caso de que se requiera cambiar la temperatura o humedad asignadas:
- a. Presione el botón SET durante 4 segundos.
  - b. Una vez que la pantalla empiece a titilar, regule con las flechas de arriba o abajo, el valor de temperatura que se quiera asignar.
  - c. Ajustado el valor se oprime un solo pulso de nuevo el botón SET, aparecerá t1
  - d. Realice el mismo proceso de calibración de humedad en caso de que la vaya a cambiar; apareciendo al final h1.
9. Una vez concluido el proceso de secado las luces de los actuadores (resistencias y ventilador) se encontrarán apagadas, lo cual indica que ya se puede retirar el producto verificando previamente que las bandejas se encuentren a una temperatura que sea manejable.

## **A2. Manual de Mantenimiento**

Para que se mantengas óptimas las condiciones de operación de la máquina, regularmente se debe realizar ciertas tareas:

1. Cada vez que se realice una operación de secado se debe realizar una limpieza exhaustiva de las bandejas que contuvieron el producto alimenticio, con ayuda de un cepillo de cerdas plásticas.
2. Realizar la limpieza general de la cámara interna de secado con una tela preferiblemente de algodón y agua, evitar disolventes y sustancias corrosivas.
3. Revisar ausencia de agujeros o desperfectos en el ducto de salida de aire desde la cámara hacia el ventilador.
4. Si se mantiene un uso frecuente es recomendable colocar grasa automotriz en el riel por el que recorre la puertezuela del sistema de renovación de aire.

Si se presenta algún funcionamiento fuera de lo previsto, se requiere la intervención de un técnico calificado, para los siguientes casos:

5. En caso de observar que la temperatura de la cámara no ha variado más de 20 grados en un periodo de 40 minutos, desconectar y proceder a verificar el buen funcionamiento de las resistencias eléctricas.
6. Verificar mínimo una vez cada dos meses que las resistencias tengan la conexión y funcionamiento pertinente.
7. Cada 6 meses se debe planificar una visita técnica para que haya revisión de elementos tales como contactores, relés y demás componentes electrónicos.
8. Si se puede observar conexiones defectuosas, cables expuestos u otros, evitar tocarlos y solicitar cambio de los mismos.

# PLANOS