



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SECADORA  
AUTOMÁTICA PARA CACAO A BASE DE AIRE  
CALIENTE TIPO ROTATORIO PARA UNA CAPACIDAD  
DE 500 KG”**

**CUEVA MORENO OSWALDO VIRGILIO  
SAQUINGA CAIZA LUIS GERMÁN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
TIPO: PROPUESTAS TECNOLÓGICAS**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2017**

---

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

---

**2016-05-09**

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**CUEVA MORENO OSWALDO VIRGILIO**

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SECADORA AUTOMÁTICA PARA  
CACAO A BASE DE AIRE CALIENTE TIPO ROTATORIO PARA UNA  
CAPACIDAD DE 500 KG”**

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

**INGENIERO MECÁNICO**

---

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Javier Enrique Orma Chávez  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

Ing. Nelson Santiago Chuquin Vasco  
**MIEMBRO DEL PROYECTO**

---

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

---

**2016-05-09**

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**SAQUINGA CAIZA LUIS GERMÁN**

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SECADORA AUTOMÁTICA PARA  
CACAO A BASE DE AIRE CALIENTE TIPO ROTATORIO PARA UNA  
CAPACIDAD DE 500 KG”**

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

**INGENIERO MECÁNICO**

---

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Javier Enrique Orma Chávez  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

Ing. Nelson Santiago Chuquin Vasco  
**MIEMBRO DEL PROYECTO**

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** OSWALDO VIRGILIO CUEVA MORENO

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SECADORA AUTOMÁTICA PARA CACAO A BASE DE AIRE CALIENTE TIPO ROTATORIO PARA UNA CAPACIDAD DE 500 KG”**

**Fecha de Examinación:** 2017-11-21

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Javier Enrique Orna Chávez <b>DIRECTOR DEL PROYECTO</b>			
Ing. Nelson Santiago Chuquin Vasco <b>MIEMBRO DEL PROYECTO</b>			

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

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

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

\_\_\_\_\_  
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** SAQUINGA CAIZA LUIS GERMÁN

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SECADORA AUTOMÁTICA PARA CACAO A BASE DE AIRE CALIENTE TIPO ROTATORIO PARA UNA CAPACIDAD DE 500 KG”**

**Fecha de Examinación:** 2017-11-21

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Javier Enrique Orna Chávez <b>DIRECTOR DEL PROYECTO</b>			
Ing. Nelson Santiago Chuquin Vasco <b>MIEMBRO DEL PROYECTO</b>			

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

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

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

\_\_\_\_\_  
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

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

---

**Saquina Caiza Luis Germán**

---

**Cueva Moreno Oswaldo Virgilio**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Luis Germán Saquina Caiza y Oswaldo Virgilio Cueva Moreno, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Saquina Caiza Luis Germán**

Cedula de Identidad: 180446458-2

---

**Cueva Moreno Oswaldo Virgilio**

Cedula de Identidad: 172195978-9

## **DEDICATORIA**

Principalmente dedico mi logro a Dios por la sabiduría y la fortaleza que en el camino de mi vida me ha brindado sin dejar que me derrumbe hasta alcanzar mi meta anhelada.

A mis padres Ana Caiza y Ernesto Saquinga que siempre me apoyaron en esta ardua lucha sin dejarme caer, me han enseñado valores y a vencer obstáculos que se presenten en mi camino hasta llegar a conseguir lo que me proponga.

A mi familia por los consejos y ánimos que me han brindado y que siempre han estado apoyándome con un granito de arena, a ellos les digo gracias y este logro cumplido es de todos por el esfuerzo y dedicación que contribuyeron.

A mis maestros que formaron parte de mi vida estudiantil, y que aportaron con sus conocimientos para cumplir con éxito una etapa de mi vida.

**Luis Germán Saquinga Caiza**

Principalmente dedico mi logro a Dios por la sabiduría y la fortaleza que en el camino de mi vida me ha brindado sin dejar que me derrumbe hasta alcanzar mi meta anhelada.

A mis padres Josefina Moreno y César Cueva que siempre me apoyaron en esta ardua lucha sin dejarme caer, enseñándome buenos valores y a sobresalir de obstáculos que se presenten en mi camino hasta llegar a conseguir lo que me proponga.

A toda mi familia por los consejos y ánimos que me han brindado y que siempre han estado apoyándome con un granito de arena, a ellos les digo gracias que este logro cumplido es de todos, por el esfuerzo y dedicación que contribuyeron en todo su momento.

**Oswaldo Virgilio Cueva Moreno**



## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la salud y vida para lograr mis metas, a mi familia por brindarme todo el apoyo y confianza para ver culminada una meta más de la vida.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una ayuda para la sociedad.

Agradezco al Ing. Javier Orna e Ing. Nelson Chuquín, por brindarme su amistad y asesoramiento de la tesis, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia se logró elaborar el presente documento.

**Luis Germán Saquina Caiza**

Agradezco a Dios por brindarme la salud y vida para lograr mis metas propuestas, a mi familia por brindarme todo el apoyo y confianza para ver finalizada una meta más en mi vida.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una ayuda para la sociedad.

Agradezco al Ing. Javier Orna e Ing. Nelson Chuquín, por brindarme su amistad y asesoramiento en el trabajo de titulación, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia se logró elaborar el presente documento.

**Oswaldo Virgilio Cueva Moreno**

# CONTENIDO

Pág.

## RESUMEN

## SUMMARY

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Formulación del problema.....	3
1.3	Justificación.....	3
1.4	Objetivos.....	3
1.4.1	<i>Objetivo general.</i> ....	3
1.4.2	<i>Objetivos específicos.</i> ....	3
<b>2.</b>	<b>MARCO REFERENCIAL</b>	
2.1	Análisis de conceptos.....	5
2.2	El cacao y sus características.....	6
2.3	Procesos y tecnologías de secado.....	11
2.4	Tipos de máquinas comunes para secar cacao y sus características.....	16
2.5	Sistemas para el secado de cacao.....	17
2.6	Principios de automatización.....	20
2.7	Materiales más usados para la fabricación de máquinas secadoras de cacao ..	22
2.8	Metodología y Herramientas de diseño.....	25
<b>3.</b>	<b>ESTUDIO DE ALTERNATIVAS</b>	
3.1	Determinación de las especificaciones de la máquina.....	29
3.2	Especificaciones técnicas.....	34
3.3	Análisis funcional.....	36
3.4	Alternativas de módulos.....	48
3.5	Evaluación de soluciones.....	51
3.6	Criterios de valoración del módulo.....	52
3.7	Características de la máquina secadora automática para cacao seleccionada..	56
3.8	Elementos de la máquina secadora automática para cacao.....	57

<b>4.</b>	<b>DISEÑO DE LA MÁQUINA SECADORA AUTOMÁTICA PARA CACAO SELECCIONADA</b>	
4.1	Diseño mecánico de la máquina.....	59
4.1.1	<i>Diseño del cilindro.</i> .....	59
4.1.2	<i>Diseño del espesor de plancha.</i> .....	61
4.1.3	<i>Análisis de la estructura base.</i> .....	63
4.1.4	<i>Diseño del tamiz.</i> .....	67
4.1.5	<i>Fuerza aplicada en los removedores.</i> .....	68
4.1.6	<i>Análisis del sistema removedor.</i> .....	70
4.1.7	<i>Selección del motorreductor.</i> .....	74
4.1.7.1	<i>Momento de inercia del sistema removedor con respecto al eje y.</i> .....	74
4.1.7.2	<i>Torque aplicado en los removedores.</i> .....	76
4.1.7.3	<i>Momento de todo el sistema de rotación.</i> .....	76
4.1.7.4	<i>Velocidad angular de trabajo.</i> .....	77
4.1.7.5	<i>Potencia de trabajo.</i> .....	77
4.1.7.6	<i>Selección del motorreductor.</i> .....	77
4.1.7.7	<i>Relación de transmisión.</i> .....	78
4.1.7.8	<i>Selección del variador de frecuencia.</i> .....	78
4.1.8	<i>Diseño del eje.</i> .....	79
4.1.8.1	<i>Cálculo de reacciones en el punto A y C.</i> .....	80
4.1.8.2	<i>Diagrama de cortante y de momentos.</i> .....	81
4.1.8.3	<i>Momento resultante.</i> .....	83
4.1.8.4	<i>Diseño estático del eje.</i> .....	83
4.1.8.5	<i>Diseño a fatiga.</i> .....	85
4.1.9	<i>Selección de chumaceras.</i> .....	90
4.1.9.1	<i>Análisis a carga estática.</i> .....	90
4.1.9.2	<i>Análisis a carga dinámica.</i> .....	91
4.1.10	<i>Análisis de la estructura pórtica.</i> .....	93
4.1.11	<i>Selección de pernos en el pórtico.</i> .....	96
4.1.12	<i>Diseño de la placa base.</i> .....	100
4.1.12.1	<i>Diseño de placa base con carga axial.</i> .....	100
4.1.13	<i>Análisis de la estructura escalera.</i> .....	104
4.2	Diseño energético.....	107

4.2.1	<i>Análisis del volumen de cacao para el secador.</i>	108
4.2.2	<i>Diseño térmico.</i>	109
4.2.3	<i>Acondicionamiento de aire.</i>	111
4.2.4	<i>Proceso de secado.</i>	115
4.2.4.1	<i>Recirculación de aire.</i>	117
4.2.4.2	<i>Tiempo de secado.</i>	122
4.2.5	<i>Pérdidas de calor en la cámara de secado.</i>	122
4.3	<i>Selección del combustible y el quemador.</i>	128
4.3.1	<i>Selección del combustible.</i>	128
4.3.2	<i>Análisis del combustible.</i>	129
4.3.3	<i>Costo del combustible.</i>	132
4.3.4	<i>Selección del quemador.</i>	133
4.4	<i>Selección del ventilador.</i>	134
4.4.1	<i>Balance de energía.</i>	135
4.4.2	<i>Pérdidas primarias.</i>	136
4.5	<i>Diseño del circuito eléctrico.</i>	138
4.5.1	<i>Circuito de potencia.</i>	140
4.5.2	<i>Circuito de control.</i>	140
<b>5.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA SECADORA AUTOMÁTICA PARA CACAO</b>	
5.1	<i>Construcción.</i>	142
5.1.1	<i>Componentes de la máquina y tecnología de construcción.</i>	143
5.2	<i>Procedimiento de construcción.</i>	145
5.2.1	<i>Elementos de construcción.</i>	145
5.2.2	<i>Tiempos de construcción de la máquina.</i>	146
5.3	<i>Montaje de la secadora automática para cacao.</i>	149
5.3.1	<i>Montaje del sistema estructural.</i>	150
5.3.2	<i>Montaje del sistema de alimentación, contenedor del producto y vaciado.</i>	150
5.3.3	<i>Montaje del sistema motriz.</i>	151
5.3.4	<i>Montaje del sistema de secado.</i>	151
5.3.5	<i>Montaje del sistema eléctrico.</i>	152
5.3.6	<i>Tiempo de construcción y montaje de la máquina.</i>	152
5.4	<i>Pruebas de la máquina secadora automática para cacao.</i>	152

5.4.1	<i>Plan de pruebas de funcionamiento.</i>	153
5.4.1.1	<i>Pruebas en vacío.</i>	153
5.4.1.2	<i>Pruebas con carga parcial.</i>	154
5.4.1.3	<i>Pruebas a plena carga.</i>	155
5.4.2	<i>Pruebas mecánicas de la máquina secadora automática para cacao.</i>	155
5.4.3	<i>Pruebas de secado de cacao con carga.</i>	156
5.4.3.1	<i>Pruebas de calidad del cacao.</i>	161
5.4.3.2	<i>Comparación de secado con la máquina artesanal.</i>	161
5.5	Verificación de los requerimientos	162
5.5.1	<i>Verificación de los requerimientos del usuario (voz del usuario).</i>	162
5.5.2	<i>Verificación del criterio del ingeniero (voz del ingeniero).</i>	162
<b>6.</b>	<b>MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS</b>	
6.1	Manual de operación	164
6.1.1	<i>Vista general del equipo.</i>	164
6.1.2	<i>Accesorios del equipo.</i>	165
6.1.2.1	<i>Sistema removedor.</i>	165
6.1.2.2	<i>Caja de control.</i>	165
6.2	Características de la máquina secadora automática para cacao	166
6.3	Instalación del equipo	167
6.3.1	<i>Requisitos necesarios.</i>	167
6.4	Instrucciones de operación	167
6.4.1	<i>Puesta en marcha.</i>	168
6.4.2	<i>Limpieza del equipo.</i>	169
6.5	Manual de Mantenimiento	171
6.6	Riesgos y medidas preventivas	172
6.6.1	<i>Riesgos ergonómicos.</i>	172
6.6.2	<i>Riesgos de quemaduras.</i>	172
6.6.3	<i>Riesgo eléctrico.</i>	173
6.7	Análisis de costos para la máquina secadora automática para cacao	173
6.7.1	<i>Costos directos.</i>	174
6.7.1.1	<i>Costo de materiales.</i>	174
6.7.1.2	<i>Costos de equipos y herramientas.</i>	176

6.7.1.3	<i>Costos de la mano de obra.</i>	177
6.7.1.4	<i>Costo por transporte de materiales.</i>	177
6.7.1.5	<i>Costo total directo.</i>	177
6.7.2	<i>Costos indirectos.</i>	178
6.7.3	<i>Costo total.</i>	178
6.8	<b>Rentabilidad del equipo.</b>	178
6.8.1	<i>Depreciación.</i>	178
6.8.1.1	<i>Causas de la depreciación.</i>	178
6.8.1.2	<i>Valor de salvamento.</i>	179
6.8.2	<i>Cálculo de la depreciación.</i>	179
6.8.3	<i>Métodos de depreciación.</i>	180
6.8.3.1	<i>Método de la línea recta.</i>	180
6.8.4	<i>Cálculo de ingresos.</i>	181
6.8.5	<i>Cálculo de egresos.</i>	181
6.8.5.1	<i>Costos por operación y mantenimiento.</i>	181
6.8.5.2	<i>Costos de materia prima (cacao).</i>	182
6.8.5.3	<i>Costo del combustible.</i>	182
6.8.5.4	<i>Costo de energía eléctrica consumida.</i>	183
6.8.6	<i>Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR).</i>	184
6.8.7	<i>Análisis de resultados.</i>	187
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
7.1	<b>Conclusiones</b>	188
7.2	<b>Recomendaciones.</b>	189

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

pág.

<b>Tabla 1-2:</b> Clasificación de cacao por calidad .....	7
<b>Tabla 2-2:</b> Características de las almendras de cacao.....	9
<b>Tabla 3-2:</b> Composición química de almendras de cacao fermentadas y secas .....	9
<b>Tabla 4-2:</b> Densidad de diferentes tipos de cacao .....	10
<b>Tabla 5-2:</b> Condiciones de clima y suelo.....	10
<b>Tabla 6-2:</b> Clasificación de combustibles industriales .....	18
<b>Tabla 7-2:</b> Rendimiento de combustión y secado considerando el exceso de aire .....	18
<b>Tabla 8-2:</b> Sistema de enumeración para identificar los aceros inoxidables .....	22
<b>Tabla 9-2:</b> Propiedades del acero inoxidable AISI 304 .....	24
<b>Tabla 1-3:</b> Ficha técnica de la competencia 1 .....	32
<b>Tabla 2-3:</b> Ficha técnica de la competencia 2.....	33
<b>Tabla 3-3:</b> Especificaciones técnicas de la máquina.....	35
<b>Tabla 4-3:</b> Matriz morfológica de soluciones para cada módulo .....	48
<b>Tabla 5-3:</b> Evaluación del peso específico de cada criterio.....	53
<b>Tabla 6-3:</b> Evaluación del peso específico volumen de producción.....	53
<b>Tabla 7-3:</b> Evaluación del peso específico secado uniforme.....	54
<b>Tabla 8-3:</b> Evaluación del peso específico consumo de energía .....	54
<b>Tabla 9-3:</b> Evaluación del peso específico nivel transferencia de calor .....	54
<b>Tabla 10-3:</b> Evaluación del peso específico velocidad de aire .....	55
<b>Tabla 11-3:</b> Evaluación del peso específico nivel de automatización .....	55
<b>Tabla 12-3:</b> Tabla de conclusiones .....	55
<b>Tabla 13-3:</b> Pre diseño de la alternativa seleccionada .....	56
<b>Tabla 1-4:</b> Valor de la eficiencia .....	62
<b>Tabla 2-4:</b> Valor de eficiencia con categoría B .....	63
<b>Tabla 3-4:</b> Tipo de secciones para la estructura base .....	64
<b>Tabla 4-4:</b> Valor de las fuerzas mediante iteración .....	69
<b>Tabla 5-4:</b> Momentos aplicados en los removedores .....	76
<b>Tabla 6-4:</b> Factor de servicio según el tiempo de operación .....	77
<b>Tabla 7-4:</b> Tipo de secciones del pórtico .....	93
<b>Tabla 8-4:</b> Tipo de secciones en la estructura escalera.....	104
<b>Tabla 9-4:</b> Propiedades del aire al inicio del proceso de calentamiento.....	111
<b>Tabla 10-4:</b> Propiedades del aire al inicio para el calentamiento .....	111
<b>Tabla 11-4:</b> Propiedades del aire al final del proceso de calentamiento.....	114
<b>Tabla 12-4:</b> Propiedades del aire de secado.....	114
<b>Tabla 13-4:</b> Propiedades del aire mediante proceso de humidificación .....	116
<b>Tabla 14-4:</b> Propiedades del aire con humidificación .....	116
<b>Tabla 15-4:</b> Propiedades del aire resultante de la mezcla.....	119
<b>Tabla 16-4:</b> Propiedades del aire de la mezcla .....	120

<b>Tabla 17-4:</b> Propiedades del aire determinadas a temperatura fílmica.....	123
<b>Tabla 18-4:</b> Porcentajes de combustión y quemado de los tipos de combustibles .....	128
<b>Tabla 19-4:</b> Poder calorífico de los combustibles.....	129
<b>Tabla 20-4:</b> Elementos eléctricos.....	139
<b>Tabla 1-5:</b> Sistemas de la máquina secadora automática para cacao.....	143
<b>Tabla 2-5:</b> Partes constructivas de la máquina secadora automática para cacao.....	145
<b>Tabla 3-5:</b> Tiempos en la construcción de la secadora automática para cacao .....	146
<b>Tabla 4-5:</b> Montaje del sistema estructural.....	150
<b>Tabla 5-5:</b> Montaje del sistema de alimentación, contenedor del producto y vaciado	150
<b>Tabla 6-5:</b> Montaje del sistema motriz .....	151
<b>Tabla 7-5:</b> Montaje sistema de secado.....	151
<b>Tabla 8-5:</b> Montaje sistema eléctrico.....	152
<b>Tabla 9-5:</b> Tiempos de construcción y montaje de la máquina .....	152
<b>Tabla 10-5:</b> Protocolo de pruebas .....	153
<b>Tabla 11-5:</b> Datos en el arranque sin carga .....	153
<b>Tabla 12-5:</b> Datos obtenidos en el arranque con carga parcial .....	154
<b>Tabla 13-5:</b> Datos obtenidos a plena carga.....	155
<b>Tabla 14-5:</b> Pruebas mecánicas .....	156
<b>Tabla 15-5:</b> Resultado del porcentaje de humedad del cacao.....	158
<b>Tabla 16-5:</b> Resultado inicial y final de humedad del cacao .....	159
<b>Tabla 17-5:</b> Datos de humedad y temperatura en la prueba de secado.....	159
<b>Tabla 18-5:</b> Comparación de parámetros.....	161
<b>Tabla 19-5:</b> Verificación de los requerimientos del usuario.....	162
<b>Tabla 20-5:</b> Verificación de la voz del Ingeniero .....	163
<b>Tabla 1-6:</b> Características generales de la máquina.....	166
<b>Tabla 2-6:</b> Puesta en marcha.....	168
<b>Tabla 3-6:</b> Limpieza del equipo .....	170
<b>Tabla 4-6:</b> Manual de mantenimiento de la máquina .....	171
<b>Tabla 5-6:</b> Partes de la máquina secadora automática para cacao .....	173
<b>Tabla 6-6:</b> Costo de materiales .....	174
<b>Tabla 7-6:</b> Costos de equipos y herramientas .....	176
<b>Tabla 8-6:</b> Costos de la mano de obra .....	177
<b>Tabla 9-6:</b> Costo total directo .....	177
<b>Tabla 10-6:</b> Costos indirectos .....	178
<b>Tabla 11-6:</b> Costo total de la máquina.....	178
<b>Tabla 12-6:</b> Depreciación anual de la máquina secadora automática para cacao.....	180
<b>Tabla 13-6:</b> Costos de operación y mantenimiento de la máquina .....	182
<b>Tabla 14-6:</b> Egresos anuales .....	184
<b>Tabla 15-6:</b> Datos para evaluación del TIR.....	184
<b>Tabla 16-6:</b> Valor actual neto para diferentes valores de interés.....	186



## LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
<b>Gráfico 1-2:</b> Humedad relativa vs tiempo .....	13
<b>Gráfico 2-2:</b> Esquema psicrométrico del ciclo de secado.....	13
<b>Gráfico 1-4:</b> Diagrama de flexión.....	85
<b>Gráfico 2-4:</b> Diagrama de flexión.....	86
<b>Gráfico 3-4:</b> Proceso de inicio de calentamiento .....	112
<b>Gráfico 4-4:</b> Proceso de calentamiento.....	113
<b>Gráfico 5-4:</b> Curva de secado .....	115
<b>Gráfico 6-4:</b> Diagrama del proceso de secado.....	120
<b>Gráfico 7-4:</b> Curva característica de los tres ventiladores centrífugos .....	134
<b>Gráfico 8-4:</b> Curva característica del ventilador.....	138
<b>Gráfico 1-5:</b> Curva de secado del cacao .....	160
<b>Gráfico 1-6:</b> Diagrama de evaluación financiera.....	185
<b>Gráfico 2-6:</b> Gráfica VAN vs TIR .....	187

## LISTA DE FIGURAS

pág.

<b>Figura 1-2:</b> Cacao fino de aroma .....	7
<b>Figura 2-2:</b> Cacao CCN-51 .....	8
<b>Figura 3-2:</b> Secadora tipo rectangular .....	16
<b>Figura 4-2:</b> Secadora tipo cilíndrica vertical .....	17
<b>Figura 5-2:</b> Quemador mecánico de gasóleo .....	19
<b>Figura 6-2:</b> Sistema básico de control .....	20
<b>Figura 7-2:</b> Sistema de control lazo abierto.....	21
<b>Figura 8-2:</b> Sistema de control lazo cerrado.....	21
<b>Figura 9-2:</b> Casa de la calidad .....	26
<b>Figura 1-3:</b> Resultados de la encuesta .....	30
<b>Figura 2-3:</b> Función de la máquina.....	36
<b>Figura 3-3:</b> Diagrama de funciones secundarias de la máquina .....	37
<b>Figura 4-3:</b> Diagrama funcional secundaria de todo el equipo.....	38
<b>Figura 5-3:</b> Estructura modular .....	39
<b>Figura 6-3:</b> Alimentación manual del cacao .....	40
<b>Figura 7-3:</b> Alimentación automática mediante banda transportadora.....	41
<b>Figura 8-3:</b> Sistema motriz horizontal .....	42
<b>Figura 9-3:</b> Sistema motriz vertical .....	42
<b>Figura 10-3:</b> Sistema de engranes.....	43
<b>Figura 11-3:</b> Ingreso de aire caliente radialmente .....	45
<b>Figura 12-3:</b> Ingreso de aire caliente tangencialmente .....	45
<b>Figura 13-3:</b> Vaciado manual .....	47
<b>Figura 14-3:</b> Alternativa 1 .....	50
<b>Figura 15-3:</b> Alternativa 2 .....	50
<b>Figura 16-3:</b> Alternativa 3 .....	51
<b>Figura 1-4:</b> Diseño final de la máquina secadora automática para cacao.....	59
<b>Figura 2-4:</b> Diseño del contenedor .....	60
<b>Figura 3-4:</b> Espesor de plancha para el contenedor.....	61
<b>Figura 4-4:</b> Carga viva aplicada en la estructura .....	64
<b>Figura 5-4:</b> Diagrama de cortante de la estructura base .....	65
<b>Figura 6-4:</b> Diagrama de momentos de la estructura base .....	66
<b>Figura 7-4:</b> Análisis de la resistencia.....	66
<b>Figura 8-4:</b> Diseño del tamiz .....	67
<b>Figura 9-4:</b> Fuerza aplicada en los removedores .....	68
<b>Figura 10-4:</b> Aplicación de fuerzas y soportes fijos en los removedores.....	70
<b>Figura 11-4:</b> Tipo de mallado .....	71
<b>Figura 12-4:</b> Resultados Von - Mises .....	72
<b>Figura 13-4:</b> Deformación total .....	73
<b>Figura 14-4:</b> Factor de seguridad.....	73

<b>Figura 15-4:</b> Sistema removedor .....	74
<b>Figura 16-4:</b> Fuerzas que actúan en el eje .....	79
<b>Figura 17-4:</b> Fuerzas aplicadas en el plano x-y .....	79
<b>Figura 18-4:</b> Fuerzas aplicadas en el plano y-z .....	80
<b>Figura 19-4:</b> Diagrama de cortante y momento en el plano x-y.....	82
<b>Figura 20-4:</b> Diagrama de cortante y momento en el plano y-z .....	83
<b>Figura 21-4:</b> Aplicación de carga en la estructura.....	94
<b>Figura 22-4:</b> Diagrama de cortante del pórtico.....	94
<b>Figura 23-4:</b> Diagrama de momentos del pórtico.....	95
<b>Figura 24-4:</b> Análisis de resistencia de los perfiles seleccionados.....	95
<b>Figura 25-4:</b> Unión a tracción del perno.....	96
<b>Figura 26-4:</b> Distribución de pernos.....	97
<b>Figura 27-4:</b> Sección de la placa base .....	100
<b>Figura 28-4:</b> Aplicación de la carga en la estructura.....	105
<b>Figura 29-4:</b> Diagrama de cortante en la escalera .....	106
<b>Figura 30-4:</b> Diagrama de momentos en la escalera .....	106
<b>Figura 31-4:</b> Resultados de la demanda capacidad.....	107
<b>Figura 32-4:</b> Temperatura de ingreso y salida del aire .....	113
<b>Figura 33-4:</b> Cámara de secado .....	126
<b>Figura 34-4:</b> Circuito térmico .....	126
<b>Figura 35-4:</b> Entrada de llama al conducto.....	133
<b>Figura 36-4:</b> Balance de energía de 1-2.....	135
<b>Figura 37-4:</b> Circuito de potencia.....	140
<b>Figura 38-4:</b> Circuito de control .....	141
<b>Figura 1-5:</b> Muestra del cacao fermentado .....	156
<b>Figura 2-5:</b> Resultado del cacao seco .....	157
<b>Figura 3-5:</b> Secador de lecho fluidizado.....	158
<b>Figura 4-5:</b> Resultado final del proceso de secado .....	161
<b>Figura 1-6:</b> Máquina secadora de cacao automática.....	164
<b>Figura 2-6:</b> Sistema removedor .....	165
<b>Figura 3-6:</b> Tablero de control.....	166
<b>Figura 4-6:</b> Instalación de la máquina sobre la base de concreto .....	167
<b>Figura 5-6:</b> Caja de control.....	173

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>PLC</b>	Controlador Lógico Programable
<b>GLP</b>	Gas Licuado de Petróleo
<b>AISI</b>	Instituto Americano del Hierro y el Acero
<b>QFD</b>	Despliegue de la Función de Calidad
<b>CAD</b>	Diseño Asistido por Computadora
<b>MEF</b>	Método de Elementos Finitos
<b>ASME</b>	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
<b>LRFD</b>	Diseño de Carga y Factor de Resistencia
<b>ASTM</b>	Asociación Americana de Ensayo de Materiales
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno
<b>VAN</b>	Valor Actual Neto
<b>CFN</b>	Corporación Financiera Nacional
<b>VAI</b>	Valor Actual de Ingresos
<b>VAE</b>	Valor Actual de Ingresos

## LISTA DE ANEXOS

<b>A</b>	Desarrollo de la matriz QFD
<b>B</b>	Características del motorreductor
<b>C</b>	Selección del variador de frecuencia
<b>D</b>	Constante de Neuber para aceros
<b>E</b>	Concentración de esfuerzos a flexión
<b>F</b>	Concentración de esfuerzos a torsión
<b>G</b>	Factor de superficie
<b>H</b>	Dimensiones para el factor de tamaño
<b>I</b>	Valores para el factor de confiabilidad
<b>J</b>	Dimensiones de la chumacera
<b>K</b>	Capacidad de carga estática y dinámica del rodamiento
<b>L</b>	Valores de factor de seguridad
<b>M</b>	Factor de confiabilidad
<b>N</b>	Duración de vida según su aplicación
<b>O</b>	Factor de vida y velocidad del rodamiento
<b>P</b>	Factor de vida del rodamiento
<b>Q</b>	Coefficientes axial y radial del rodamiento
<b>R</b>	Especificaciones ASTM para pernos de acero
<b>S</b>	Diámetro y áreas de roscas métricas
<b>T</b>	Propiedades atmosféricas según las altitudes
<b>U</b>	Propiedades del aire a presión atmosférica
<b>V</b>	Conductividad térmica del Acero inoxidable AISI 304
<b>W</b>	Características técnicas del quemador
<b>X</b>	Dimensiones del quemador
<b>Y</b>	Diagrama para determinar el diámetro del conducto
<b>Z</b>	Diagrama para pérdidas por conducto
<b>AA</b>	Curva del ventilador
<b>BB</b>	Características técnicas del ventilador centrífugo
<b>CC</b>	Dimensiones del ventilador centrífugo
<b>DD</b>	Factor de potencia de cargas más usuales
<b>EE</b>	Informe de humedad del cacao
<b>FF</b>	Salario mínimo del sector metalmecánico
<b>GG</b>	Partes constructivas de la máquina

## RESUMEN

El incremento de tiempo en el proceso de secado de cacao y la problemática temporada invernal motivaron en realizar una máquina secadora automática para cacao que cumpla con las características de secado óptimo, reduciendo a un porcentaje de humedad adecuado en la Comunidad Mirador Lojano ubicada en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. El desarrollo del proyecto tiene como alcance diseñar y construir una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg; esto implicó la recopilación de información necesaria para realizar la metodología de diseño, el estudio de alternativas tecnológicas existentes en el mercado y seleccionar la más viable que cumplan con los requerimientos del usuario, parámetros de calidad y producción. Posteriormente se realizó el diseño mecánico y energético de los elementos que conforma la máquina, realizando cálculos para el espesor de plancha del contenedor mediante recipientes a presión interna; para el análisis de los removedores se aplicó el software ANSYS; en el análisis estructural de la base, el pórtico y la escalera se utilizó el software SAP 2000; para el acondicionamiento de aire en el proceso de calentamiento se aplicó el software ENGINEERING EQUATION SOLVER (EES), éste facilitó las propiedades termodinámicas del aire; en la combustión para mejorar la eficiencia energética se optó por el combustible GLP; por último se realizaron la pruebas de secado con el cacao fermentado. En conclusión la máquina secadora automática para cacao logra un secado adecuado del 9 % de humedad en el grano alcanzando la temperatura de 43 - 44 °C en un periodo de 4 a 5 horas durante el proceso, mejorando así la eficiencia y producción en el sector campesino como también reduciendo el tiempo de secado y ahorro de la mano de obra. El manejo adecuado de operación para realizar el proceso evitará las posibles averías en el equipo.

PALABRAS CLAVE: <EFICIENCIA ENERGÉTICA>, <CALIDAD DEL PRODUCTO>, <PROCESO TERMODINÁMICO>, <VOLUMEN DE PRODUCCIÓN>, <PORCENTAJE DE HUMEDAD>, < PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN >, <TRANSFERENCIA DE CALOR>, <RECIRCULACIÓN DE AIRE>

## SUMMARY

The time increased in the cacao drying process and the problematic winter season motivated the creation of an automatic cacao-drying machine that fulfills the optimum drying characteristics reducing the adequate humidity percentage at Mirador Lojano Community located in Santo Domingo de los Tsáchilas Province. The purpose of the project is to design and build a 500 Kg capacity automatic rotary type hot air cacao-drying machine. This implied collecting the necessary information to establish the design methodology, the study of the existing technological alternatives in the market and the selection of the most appropriate alternative, as well as the one that accomplishes the user's requirements, quality parameters, and production. Then, it was necessary to carry out the energetic and mechanical design of the elements making up the machine; this was done through calculations for the thickness of the container plate by means of internal pressure vessels. For the analysis of removers, it was necessary to use ANSYS software; for the base structural analysis, the porch, and ladder software SAP 2000 was used; for conditioning the air during the heating process, ENGINEERING EQUATION SOLVER (EES) software was used. This facilitated the air thermodynamic properties; in combustion, for improving the energetic efficiency GLP fuel was used; finally drying tests were carried out by using brewed cacao. In conclusion the automatic cacao-drying machine achieves an adequate drying in a 9% of humidity in the grain, reaching a temperature from 43 to 44 centigrade grades within a period from 4 to 5 hours during the process, this improves the efficiency and production in the peasant sector as well as reducing the drying time and labor. The adequate operational management to carry out the process will avoid possible damages in the equipment.

KEY WORDS: <ENERGETIC EFFICIENCY>, <PRODUCT QUALITY>, <THERMODYNAMIC PROCESS>, <PRODUCTION VOLUME>, <HUMIDITY PERCENTAGE>, <AUTOMATION PROCESS>, <HEAT TRANSFER>, <AIR RECIRCULATION>

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El cacao es un producto muy importante de exportación en el Ecuador, su cultivo se lo realiza durante el año completo, por ser un producto de extremada producción la mayoría de personas del sector costero se dedican al cultivo de cacao.

Después de la cosecha es importante realizar lo que se refiere a la fermentación, aquí el cacao posee un porcentaje de humedad que varía entre 55 y 60 % aproximadamente, hay diferentes maneras de hacerlo sean estos mediante cajones de madera o tendales. (JÁCOME BAZURTO, 2010)

Otro parámetro a considerar con el propósito de reducir el porcentaje de humedad del cacao es mediante el secado, para que su resultado final tenga éxito en el mercado es lograr un porcentaje de humedad entre 7 y 8 % aproximado, a esta humedad el cacao mantiene sus características, la temperatura debe alcanzar un rango de 40 – 60 °C para el secado adecuado. (ESPINOZA MARTÍNEZ, y otros, 2015)

Para llevar a cabo el secado se lo realiza ya sea de forma natural o artificial, cuando se lo realiza por secado natural se aprovecha de la radiación solar, pero en época invernal es perjudicial ya que ocasiona daños en el producto y pérdidas en la producción.

El tiempo de secado de forma natural lleva de 6 a 7 días esto en las épocas donde hay la presencia de la radiación solar. La manera de realizar el secado en menor tiempo es de forma artificial ya sea mediante el uso de máquinas artesanales.

Al evidenciar ciertas falencias en la Comunidad Mirador Lojano ubicada en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas se lo realizará el diseño de una secadora automática para cacao con el objetivo de disminuir el tiempo de secado y aumentar la producción, así como también mejorar la eficiencia energética.

### 1.1 Antecedentes

El cacao es un producto de calidad debido a su aroma y sabor que lo posee, por sus propiedades que presenta se utilizan en las grandes industrias ya sea para la obtención de



chocolate y ciertos derivados, convirtiéndose así entre los productos de mayor exportación a nivel internacional.

Por lo general donde hay mayor producción de cacao es en la región litoral como también en la Amazonía, uno de los procesos más importantes es el secado, aquí se considera las propiedades del producto y el grado de humedad y así ser utilizados en distintas aplicaciones. Para conseguir el secado apropiado al producto se lo puede realizar mediante dos métodos que son comunes en nuestro país.

*Secado natural.* La mayor parte de agricultores emplean este proceso debido al costo, se lo realiza bajo la presencia de la radiación solar sean estos mediante tendales de madera, cemento e invernaderos, es adecuado este método dependiendo de la época y sus condiciones climáticas.

*Secado artificial.* Consiste en realizar el secado de manera artesanal es más eficiente ya que se lo consigue en menor tiempo y no afectan las condiciones climáticas, logrando así un secado con el porcentaje de humedad adecuado y las propiedades que especifica el producto.

De los métodos mencionados anteriormente por sus características que presenta el más utilizado es el secado artificial consiguiendo el resultado en menor tiempo y un producto de mejor calidad deleitando de su sabor y aroma.

El Ecuador está entre los países de mayor exportación debido al cultivo del cacao ya que este producto se cosecha durante todo el año alcanzando un porcentaje de producción muy elevado. Para realizar el secado en lo que se refiere de forma natural tiene que ver mucho con la época climática y no necesariamente sucede con el secado artificial.

Con el secado natural se consigue en mayor tiempo, cuando está en la época invernal, disminuye el volumen de producción y se deteriora el producto perdiendo las características como es el aroma y sabor.

Por esta razón se requiere construir un modelo artificial utilizando un combustible GLP que nos permita solucionar todas las falencias mencionadas anteriormente y sacar al mercado un secado que cumpla con los estándares de calidad para satisfacer las necesidades de los clientes.

## **1.2 Formulación del problema**

Una vez realizado la cosecha el producto se extrae de las mazorcas de cacao con un porcentaje de humedad elevado y su deshidratación se realiza mediante varios métodos el más utilizado es el secado natural que se emplea de acuerdo a la época el cual requiere de mayor tiempo de secado, mano de obra y espacio físico, otro de los inconvenientes es la temporada invernal en donde no se consigue un porcentaje de humedad adecuado desfavoreciendo la calidad del producto y paro de producción.

## **1.3 Justificación**

El cacao es un producto de mucha importancia en la economía del país debido a que es uno de los productos de mayor exportación, al terminar con el proyecto, la Comunidad Mirador Lojano ubicada en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas contará con la máquina secadora de cacao automática el cual dará la solución a los problemas que se presentan, de tal manera que se logre mejorar el proceso de secado de cacao, además consiguiendo un resultado de secado acorde a los estándares de calidad y a la vez aumentando la producción en beneficio del sector campesino y del país, así como la comodidad de los trabajadores y de esta manera satisfacer los requerimientos del mercado.

## **1.4 Objetivos**

**1.4.1 *Objetivo general.*** Diseñar y construir una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg con el propósito de mejorar la eficiencia energética y la producción en el sector campesino.

**1.4.2 *Objetivos específicos.***

Recopilar la información necesaria acerca del cacao, sus características, propiedades, las diferentes máquinas de secado y las metodologías de diseño mediante un estudio bibliográfico.

Realizar un diseño conceptual de una secadora automática para cacao.

Diseñar y seleccionar los elementos que compone la máquina.

Construir la máquina secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio.

Realizar un análisis de costos y protocolo de pruebas de funcionamiento de la máquina.

Hacer la respectiva comparación de la máquina secadora de cacao artesanal con la automática para evaluar la eficiencia y producción.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 Análisis de conceptos

*Diseño mecánico.* El diseño es un parámetro que permite resolver un problema el producto a su vez debe ser funcional, construible y pueda comercializarse. (BUDYNAS, et al., 2008)

Diseño es la transformación de conceptos e ideas en maquinaria útil, una máquina es un conjunto de mecanismos que emplean energía para cumplir su función, siendo a su vez muy útil en la ingeniería. (HAMROCK, et al., 2000)

El diseño es una serie de técnicas empleadas para lograr un dispositivo, especificadas detalladamente para ser transmitidas en una máquina que cumpla los requerimientos del usuario. (NORTON, 2009)

Diseño es una forma de concebir bienes y servicios mediante el uso de tecnologías y a su vez lograr nuevas herramientas y metodologías para así conseguir el resultado final esperado. (RIBA ROMEVA, 2002)

De los conceptos mencionados anteriormente sobre el diseño mecánico analizados cada uno de ellos el más utilizado para esta área es la mencionada por el autor BUDYNAS, por su mejor entendimiento y facilidad de diseño que presenta este libro, para la maquina secadora de cacao los elementos que componen para su diseño se guiará mediante estos libros mencionados.

*Velocidad del aire.* Es muy importante en la parte de la cámara de secado ya que permite reducir el porcentaje de humedad presente en el producto.

*Humedad.* Es la cantidad de vapor presente en la atmosfera, el vapor de agua tiene una densidad menor que la del aire por lo tanto el aire húmedo es la mezcla de aire y vapor de agua, es menos denso que el aire seco.

*Secado.* Consiste en reducir el grado de humedad presente en el grano ya sea de forma natural o artificial.

*Circulación forzada.* El aire generado por el ventilador circula hacia la cámara de secado, este método de circulación se implementa en los diseños de gran capacidad de secado. (LÓPEZ CHICA, 2015)

*Carta psicrométrica.* Permite determinar ciertas propiedades del aire atmosférico conociendo a su vez dos propiedades intensivas e independientes. (CENGEL, et al., 2012)

*Combustión.* Es tomar una sustancia química en la que interviene reactivos como es el combustible más el agregado de comburente para ser transformados en productos mediante la quema de materiales llamados combustibles. (ZABALA, 2012)

*Poder calorífico.* Se genera mediante una oxidación completa del combustible entregada por un kilogramo de calor producido.

*Quemadores.* Es un instrumento para la quema de combustibles mediante la cual generan el calor en una especie de llama.

## **2.2 El cacao y sus características**

*Origen del cacao.* El cacao nace en las selvas de América Central y del Sur, conocido con un nombre científico Theobroma, esta palabra tiene un significado griego la que suele decir comida para los dioses, este fruto crecen en zonas donde abundan mayor precipitación y están en temperaturas de 25-28 °C. La mazorca de cacao contiene en su interior de 20 a 60 semillas, a su vez rodeados de una pulpa, miden de 10 a 32 cm de longitud, pueden pesar de 200 a 1000 g. (ECUADOR, 2013)

Una vez fermentado el caco se secan en el sol para reducir el grado de humedad, se conserva el aroma y sabor para ser utilizados en ciertos derivados como es el más importante en la producción de chocolates, donde hay mayor demanda del producto siendo así en nuestro país uno de los de mayor exportación.

*Tipos de cacao.* Para el respectivo estudio se van analizar los dos tipos de cacao que son los siguientes: Cacao fino de aroma y cacao CCN-51(Colección Castro Naranjal).

*Cacao fino de aroma.* Este tipo de cacao se lo reconoce como Criollo o Nacional el fruto tiene un color amarillo, posee características de buen aroma y sabor en el chocolate siendo así muy reconocido a nivel mundial. (ECUADOR, 2013)

El cacao fino de aroma por las características que presenta son muy buscados por los fabricantes de chocolate, a nivel mundial representan un 5 % en la producción, es uno de los de mayor exportación ecuatoriana ya que el 75 % es de cacao fino de aroma mientras que el 25 % se refiere al cacao CCN-51. (JIMBO YÉPEZ, y otros, 2016)

**Tabla 1-2:** Clasificación de cacao por calidad

<b>CACAO FINO DE AROMA</b>	ASSPS: Arriba superior Summer Plantación Selecta
	ASSS: Arriba Superior Summer Selecto
	ASS: Arriba Superior Selecto
	ASN: Arriba Superior Navidad
	ASE: Arriba Superior Época
<b>CCN-51 (Colección Castro Naranjal)</b>	

Fuente: (GONZALÉS VÁZQUES, 2012)



**Figura 1-2:** Cacao fino de aroma

Fuente: (JIMBO YÉPEZ, y otros, 2016)

*Cacao CCN-51.* A este tipo de cacao se lo conoce como Colección Castro Naranjal es un nuevo fruto de la obtención de un injerto, su mazorca es de color rojo lo que le diferencia del cacao fino de aroma, tienen un alto rendimiento en la extracción de semielaborados y producción de chocolates entre otros. (ECUADOR, 2015)

La pulpa está compuesta aproximadamente del 80 % de agua, 15 % de glucosa y fructosa con pequeñas cantidades de ácido cítrico, sacarosa pectinas y aminoácidos. Durante el periodo de fermentación su PH (nivel de acidez) cambia de 3,7 a 5,0. (JÁCOME BAZURTO, 2010)

*Características.* Entre las principales características de este tipo de cacao son las siguientes:

- La producción de este tipo de cacao es de 50 quintales por hectárea.
- Se adapta a todas las zonas tropicales.
- Tiene un porcentaje de manteca de 54 %, lo que lo hace muy cotizado por las industrias.
- Es muy resistente a las enfermedades.



**Figura 2-1:** Cacao CCN-51

Fuente: (ESPINOZA MARTÍNEZ, y otros, 2015)

*Características de las almendras de cacao.* En la siguiente tabla se presenta las características que presenta el cacao sin fermentar o fermentadas.

**Tabla 2-1:** Características de las almendras de cacao

Características	Fermentada	Sin fermentar
Aroma	Agradable	Desagradable
Sabor	Medianamente amargo	Astringente
Forma	Hinchada	Aplanada
Color interno	Café oscuro	Café violáceo
Textura	Quebradiza	Compacta
Separación de la testa	Fácil	Difícil

Fuente: (JÁCOME BAZURTO, 2010)

*Composición química de almendras de cacao.* La tabla muestra el porcentaje de las almendras de cacao fermentadas y secas.

**Tabla 3-2:** Composición química de almendras de cacao fermentadas y secas

Componentes	Fermentado y seco (%)	Cascara (%)	Germen o radícula (%)
Agua	5,00	4,50	8,50
Grasa	54,00	1,50	3,50
Caféina	0,20		
Teobromina	1,20	1,40	
Polihidroxifenoles	6,00		
Proteínas bruta	11,50	1,90	25,10
Mono-oligosacáridos	1,00	0,10	2,30
Almidón	6,00		
Pentosanos	1,50	7,00	
Celulosa	9,00	26,50	4,30
Ácidos carboxílicos	1,50		
Otras sustancias	0,50		
Cenizas	2,60	8,00	6,30

Fuente: (JORDÁN RUBIO, 2013)

*Densidad del cacao.* Se presenta la densidad del grano en baba, fermentado y seco, estos datos importantes son considerados para el proceso de secado.



**Tabla 4-2:** Densidad de diferentes tipos de cacao

Tipo de cacao	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
Cacao en baba	900
Cacao húmedo fermentado	775
Cacao grano seco	635

Fuente: (JIMBO YÉPEZ, y otros, 2016)

Las condiciones de clima y suelo en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas cada una con sus respectivas características.

**Tabla 5-2:** Condiciones de clima y suelo

Condiciones de Clima y Suelo para la Producción de Cacao			
Condición	Característica	Valor	
<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 (evita 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: (ESPINOZA MARTÍNEZ, y otros, 2015)

*Principios técnicos de secado.* “La rapidez de secado depende de la velocidad con la que circule el aire a través del cacao, además del grado de sequedad, características del producto (humedad, composición, tamaño)”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

La cantidad de vapor de agua que el aire puede absorber depende en gran parte de la temperatura, a medida que el aire se calienta la humedad relativa decae, por lo que absorbería mayor humedad. “Al calentarse el aire alrededor del cacao este se deshidrata rápidamente”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“El tamaño también es un factor que se deberá tomar en cuenta porque mientras más pequeño sea menor tiempo tomará para que la humedad interna sea evaporada a diferencia de un grano más grande que tomaría un mayor tiempo en evaporarse la humedad”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

### **2.3 Procesos y tecnologías de secado**

Mediante el estudio bibliográfico realizado se determina que existen dos procesos de secado para cacao de los cuales son: secado natural y secado artificial.

*Secado natural.* Este tipo de secado se lo realiza por medio de la radiación solar ya sea mediante el uso de tendales (madera/cemento), en donde los rayos del sol inciden directamente sobre la superficie, el producto se encuentra en montículos.

Este tipo de secado conlleva mayor tiempo y área extensa para realizarlo, el cual en las épocas de lluvia el proceso se detiene, y el producto puede deteriorarse ocasionando pérdidas en la producción.

*Secado artificial.* Para la aplicación de este tipo de secado se requiere el uso de máquinas en donde se optimiza el tiempo de secado y la mano de obra, sobre todo en donde no es posible realizar el secado natural debido a la baja incidencia del sol para dicho proceso específicamente en temporadas invernales donde existen variaciones climáticas. Se debe tener en cuenta que con este método el área de secado es mucho menor a la que se utiliza con el secado natural de esta manera consiguiendo incremento en la producción.

*Extracción de humedad del cacao.* La humedad en el cacao viene representada en un grado porcentual. Después de la fermentación y su posterior secado es importante determinar la humedad del cacao para conocer la pérdida de masa (peso) expresado en

porcentaje que se produce al calentar una porción de cacao bajo condiciones preestablecidas.

Según la norma NTE INEN 0173 (1975), la fórmula a emplearse para determinar la humedad es la siguiente:

$$\text{Humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

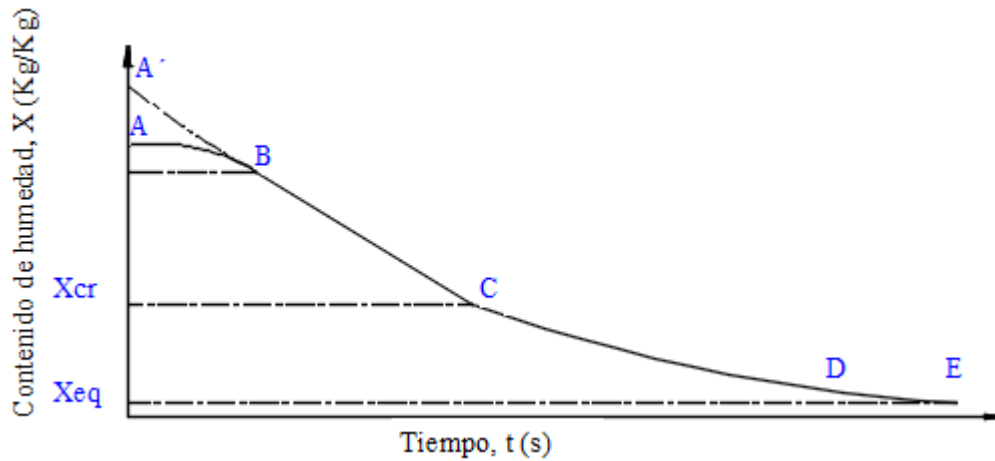
Dónde:

$m_1$  = masa al inicio del proceso [kg]

$m_2$  = masa al final del proceso [kg]

El secado es una etapa en el que se reduce el porcentaje de humedad del grano por calentamiento. Una vez que concluye la fermentación la humedad varía entre 55 – 60%, lo que se consigue con el secado es reducir a un 7 – 8% de humedad para evitar enfermedades al almacenar el grano, esto a su vez facilita el transporte, manejo y comercialización de cacao. Si se reduce en exceso la humedad la cascara se vuelve quebradiza.

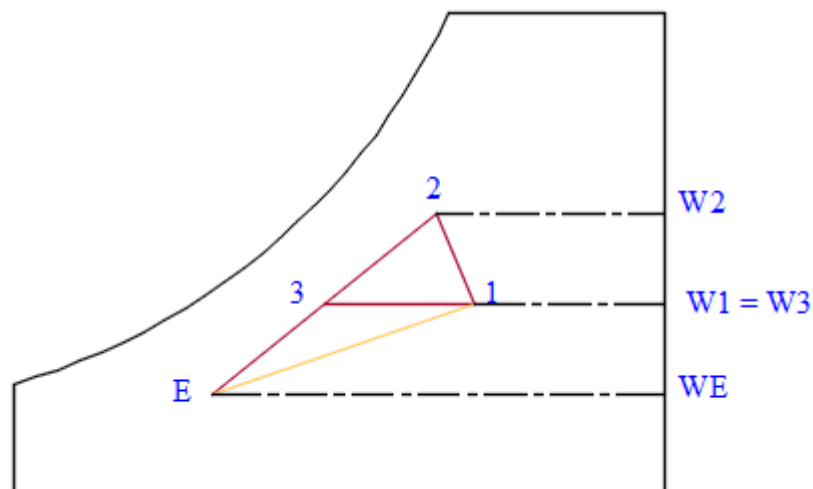
*Curva de secado.* La gráfica indica el tiempo de secado de acuerdo a la humedad presente en el producto, para el inicio de secado se tomará un cambio en la curva A – B, después de este primer secado la curva toma una forma lineal del tipo  $X = f(t)$  en este tramo la velocidad de secado es constante como se observa en la recta B – C, el secado continua hasta que llega a un punto crítico C y a continuación tiende nuevamente a curvarse formando una asíntota con el contenido de humedad  $X_{eq}$  y de esta manera no llega al punto E. Se concluye que la recta B – C es el tramo de secado a velocidad constante mientras que para el tramo restante la velocidad de secado tiende a bajar.



**Gráfico 1-2:** Humedad relativa vs tiempo

Fuente: (ESPINOZA MARTÍNEZ, y otros, 2015)

*Ciclo de secado para el cacao.* El producto que es secado por convección (el aire caliente en contacto directo con el cacao), incrementándose la humedad relativa del aire sin llegar a su saturación.



**Gráfico 2-1:** Esquema psicrométrico del ciclo de secado

Fuente: (LÓPEZ CHICA, 2015)

Al ingreso en el punto 1 la mezcla de aire (caliente y seco) ingresa al secador y sale como indica el punto 2, posteriormente de entrar en contacto con la materia prima

El punto 3 especifica la mezcla de aire hasta llegar al punto E, posteriormente cerrando la curva con el punto 1.

*Proceso de calentamiento de aire.* El calentamiento de aire se detalla en la línea 3-1, donde se mantiene constante la humedad absoluta.

La siguiente ecuación detalla la rapidez de transferencia de calor:

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{m}_{aire} (h_1 - h_3) \quad (2)$$

Dónde:

$\dot{Q}_{aire}$  = Rapidez de transferencia de calor [kJ/s]

$\dot{m}_{aire}$  = Flujo de aire [kg/s]

$h_1$  = Entalpia de aire en el punto 1 [kJ/kg]

$h_3$  = Entalpia de aire en el punto 3 [kJ/kg]

*Proceso de humidificación de aire.* Se observa la línea 1 – 2, la cual se da cuando está en contacto la humedad con aire caliente. Para calcular la cantidad de humedad absorbida se tiene la siguiente expresión:

$$m_w = m_a (w_2 - w_1) \quad (3)$$

Dónde:

$m_w$  = Masa de agua [kg]

$m_a$  = Masa de aire [kg]

$w_2$  = Humedad específica a la salida del secador [kg de agua/ kg de aire seco]

$w_1$  = Humedad específica a la entrada de la cámara de secado [kg de agua/ kg de aire seco]

*Mezcla adiabática.* Para el cual se realiza los siguientes balances:

Balance de aire seco:

$$m_{a1} + m_{a2} = m_{a3} \quad (4)$$

Balance de masa de vapor de agua:

$$m_{a1}w_1 + m_{a2}w_2 = m_{a3}w_3 \quad (5)$$

$$\frac{m_{a1}}{m_{a2}} = \frac{w_3 - w_2}{w_1 - w_3} \quad (6)$$

$$\frac{m_{a2}}{m_{a3}} = \frac{w_1 - w_3}{w_1 - w_2} \quad (7)$$

Balance de energía:

$$m_{a1}h_1 + m_{a2}h = m_{a3}h_3 \quad (8)$$

$$\frac{m_{a1}}{m_{a2}} = \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_3} \quad (9)$$

*Calor útil.* Es la energía efectiva utilizada por el cacao para ser secado y se representa por la siguiente ecuación:

$$Q_{util} = \Delta_m (c_{p\text{agua}}) (T_1 - T_2) \quad (10)$$

Dónde:

$\Delta_m$  = Variación de masa en el sistema [kg]

$c_{p\text{agua}}$  = Calor específico del agua [kJ/kg°K]

$T_1$  = Temperatura inicial del cacao [°K]

$T_2$  = Temperatura del cacao seco [°K]

$$\Delta_m = m_1 - m_2 \quad (11)$$

Dónde:

$m_1$  = Masa inicial (antes del secado) [kg]

$m_2$  = Masa final (después del secado) [kg]

## 2.4 Tipos de máquinas comunes para secar cacao y sus características

Entre las posibles máquinas existentes en el Ecuador y a nivel mundial más utilizadas para el secado de cacao son las siguientes:

*Secadora de cacao rectangular.* Este tipo de máquina es muy utilizado por los productores de cacao debido a su tiempo de secado y ahorro de energía, la remoción del grano se lo realiza de forma manual, sea por medio de palas de madera o metal, el diseño de la secadora dan un buen resultado de productividad, la máquina consta de una cámara de secado en la parte inferior, el material para su ensamble puede ser de acero inoxidable o galvanizado por tratarse de un producto alimenticio, hay un control de llama para regular la temperatura, el combustible para el equipo suelen utilizar GLP o diésel, además consta de compuertas para la descarga y limpieza de la máquina.

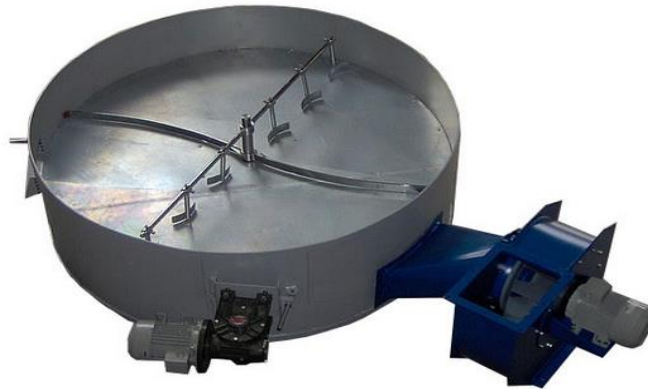


**Figura 3-2:** Secadora tipo rectangular

Fuente: (RUIZ, 2015)

*Secadora de cacao cilíndrica vertical.* Este tipo de máquina permite obtener el secado de cacao en el menor tiempo posible y se diferencia de las rectangulares en la manipulación del grano con la utilización de elementos y mecanismos en una forma mecánica. Su diseño para el proceso de secado dan como resultados un equipo de elevada productividad sin variar su calidad. La secadora cuenta con: plataforma propia para aprovechamiento del

calor, diseño ensamblado con materiales de acero inoxidable alimenticio o galvanizado, puede ser opcional, su temperatura se regula electrónicamente, consta también con puertas de descarga para el vaciado del producto.



**Figura 4-2:** Secadora tipo cilíndrica vertical

Fuente: (FAMSER LTDA)

De las máquinas más comunes utilizadas en el país son las mencionadas anteriormente, las cuales son altamente productivas. Por el tiempo de secado y optimización de mano de obra se optará por la máquina circular en donde la mezcla del producto durante todo el proceso se realizará en una forma mecánica, para controlar la temperatura se realiza de forma automática mediante el uso de un controlador lógico programable (PLC) que servirá para controlar las variables físicas presentes en el proceso.

## **2.5 Sistemas para el secado de cacao**

Los sistemas que se van a considerar para realizar el proceso están basados en el calentamiento y ventilación.

*Calentamiento.* Para realizar el proceso de calentamiento se consigue mediante el uso de combustibles, para ello es necesario entender la combustión.

*Combustión.* Es un proceso de reacción química que consiste en oxidar un elemento, en la combustión intervienen tres factores importantes como es la energía de activación, combustible y comburente. Para su composición el comburente se utiliza el 21 % de Oxígeno y el 79 % de Nitrógeno, los combustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos dependiendo del uso adecuado para su proceso. (PLAZA ESPINOZA, et al., 2012)



*Clasificación de combustibles.* Los combustibles industriales se clasifican por estar constituidos por mezclas o combinaciones de una serie de elementos.

**Tabla 6-2:** Clasificación de combustibles industriales

CLASIFICACIÓN DE COMBUSTIBLES INDUSTRIALES		
<b>SÓLIDOS</b>	Naturales	Maderas y Residuos Vegetales
		Carbón
		Turbas
		Lignitos
	Hullas	
	Antracita	
Artificiales	Coques (Carbón y Petróleo)	
	Aglomerados y Briquetas	
	Carbón Vegetal	
<b>LÍQUIDOS</b>	Alcoholes	Naturales (Fermentación e Hidrólisis)
	Residuales	Artificiales
	Derivados del petróleo	Lejías Negras
		Gasóleos
<b>GASEOSOS</b>	Residuales	Fuel - Gas
	Gas natural	Diferentes Familias
	Gas licuado de petróleo	Propanos y Butanos
	Artificiales o elaborados	Gas de Alto Horno
		Gas de Coque
		Gas Pobre
		Gas de Agua
	Biogas	Gas Ciudad

Fuente: (PLAZA ESPINOZA, et al., 2012)

*Análisis del combustible.* Se debe implementar un combustible con mayores beneficios económicos, transporte de combustible, se analizará por optar nuevas tecnologías que permita parámetros de eficiencia mayores y que reduzca el impacto ambiental.

**Tabla 7-2:** Rendimiento de combustión y secado considerando el exceso de aire

Combustible	Rendimiento de la combustión	Rendimiento de quemado
Gas Natural	95-98	98-99
Gas Licuado	95-98	98-99
Residual 6	70-77	92-95
Residual 5	70-77	93-95
Diésel 2	80-83	93-95
Leña	45-55	80-85
Carbón Sub-bituminoso	55-60	87-90
Carbón Bituminoso	55-60	87-90

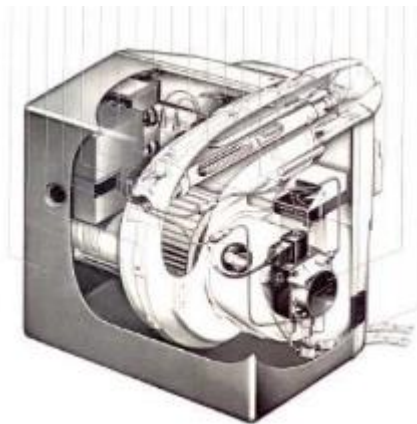
Fuente: (PLAZA ESPINOZA, et al., 2012)

*Quemadores.* Son instrumentos esenciales de realizar la combustión mediante el uso de combustibles líquidos o gaseosos, los combustibles sólidos requieren un diseño especial

en el quemador, para lograr una combustión uniforme en el proceso se requieren de tres elementos como son:

- Proporción entre aire combustible adecuado.
- Mezcla adecuada de aire combustible.
- Temperatura de ignición adecuada.

*Quemadores mecánicos.* Este tipo de quemadores vienen con un sistema de ventilación ya que el aire que transfiere lo expulsa mediante un ventilador son quemadores de alta presión.



**Figura 5-2:** Quemador mecánico de gasóleo

Fuente: (PLAZA ESPINOZA, et al., 2012)

*Ventilación.* Para la circulación de aire dentro de la cámara de secado se lo realiza de dos maneras ya sea por circulación natural o forzada.

*Circulación natural.* Este tipo de circulación se da por la diferencia de temperaturas, se emplea en sistemas pequeños que no requieren de mucho aire para su proceso, el rango va entre 0,4 – 1 m/s.

*Circulación forzada.* La circulación forzada se emplea para grandes capacidades de secado el cual es generado mediante un ventilador, además se pueden manipular la velocidad en el proceso de secado, el rango a emplearse va de 0,5 – 1 m/s.

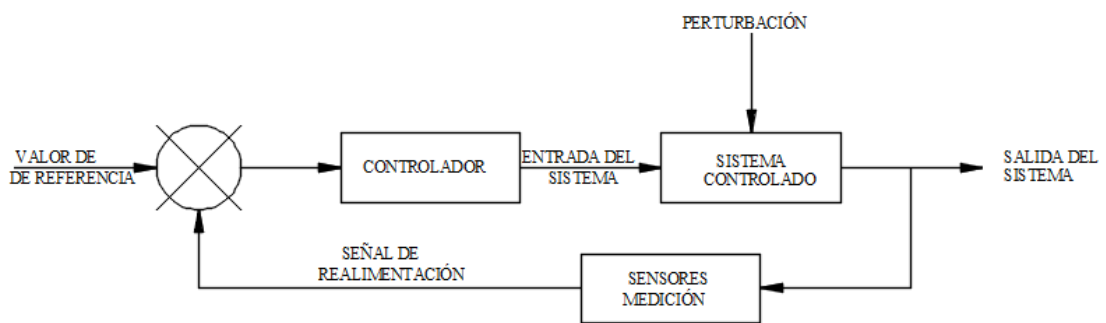
*Ventilador.* Para la selección del equipo es necesario tener en cuenta dos parámetros como es la presión de trabajo y el caudal, la velocidad del aire recomendado para el secado de granos están entre 0,3 – 4 m/s. Para tener una combustión uniforme en la cámara de secado

la velocidad de aire es recomendado de 1,5 m /s, este dato se tomará en cuenta para la parte de circulación de aire en la cámara de secado. (ESPINOZA MARTÍNEZ, y otros, 2015)

## 2.6 Principios de automatización

*Automatización.* La automatización es la forma que permite realizar una o varias acciones sin la intervención humana, mediante la aplicación de sistemas neumáticos, eléctricos, hidráulicos y componentes mecánicos, para realizar un proceso repetitivo.

*Sistema de control.* Es un ordenamiento de componentes físicos que se conectan entre sí, con el cual permiten regular o dirigir un proceso y así ser transmitidos a otro sistema, estos sistemas son controlados dinámicamente. En la figura se observa un sistema básico de control.



**Figura 6-2:** Sistema básico de control

Fuente: (PEREZ, y otros, 2007)

*Valor de referencia.* Es el resultado que se espera tener a la salida del sistema controlado.

*Controlador.* Designa la regulación, dirección o comando en la que controla temperaturas, presiones, caudales y niveles, así como todas las funciones de temporización.

*Sistema.* Es la combinación de ciertos componentes que actúan para lograr un objetivo, en este caso el de controlar.

*Entrada del sistema.* Es una variable entregada a un sistema controlado para ser procesado su información.

*Perturbación.* Es una señal que tiende a afectar el valor de salida del sistema, puede generar una perturbación dentro o fuera del sistema.

*Salida del sistema.* Es la variable que se desea controlar esta puede ser: presión, posición, velocidad, temperatura, etc.

*Sensores o transductores.* Estos elementos captan magnitudes del sistema para determinar el estado del proceso que se controla.

*Realimentación.* Permite comparar la variable de la salida del sistema con la entrada.

Existen dos tipos de sistemas de control pueden ser cerrado o abierto.

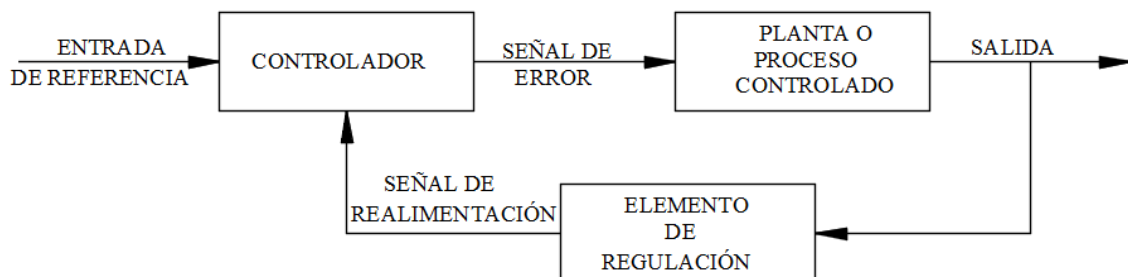
*Sistema de control de lazo abierto.* Son aquellos que en la salida no tiene efecto sobre la acción del controlador, es decir no se realimenta para compararla con la entrada.



**Figura 7-2:** Sistema de control lazo abierto

Fuente: (PEREZ, y otros, 2007)

*Sistema de control de lazo cerrado.* Es aquella que en la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción del controlador, a diferencia del sistema de lazo cerrado tiene realimentación para reducir el error del sistema.



**Figura 8-2:** Sistema de control lazo cerrado

Fuente: (PEREZ, y otros, 2007)

*Clasificación de sistemas de control según el tipo de señal.* Existen sistemas de control analógicos, digitales e híbridos.

*Sistemas de control analógicos.* Este tipo de señales controlan magnitudes físicas como: velocidad, temperatura presión, etc. Siendo capaces de manipular señales continuas.

*Sistemas de control digitales.* Emplean señales binarias todo o nada.

*Sistemas de control híbridos.* Utilizan señales analógicas, digitales son autómatas programables.

*Autómata Programable (PLC).* Es un aparato electrónico programable por el usuario y destinado a controlar máquinas, o procesos lógicos secuenciales. El término PLC significa controlador lógico programable, esta a su vez trabaja bajo una secuencia de instrucciones lógicas almacenada en la memoria.

## 2.7 Materiales más usados para la fabricación de máquinas secadoras de cacao

Los materiales más usados que se emplean para la construcción de máquinas que intervienen directamente con alimentos a nivel mundial y local son los aceros inoxidables y los galvanizados.

*Aceros inoxidables.* Los aceros inoxidables por su excelente resistencia a la corrosión se utilizan en la industria alimenticia, tienen una alta gama de disponibilidad. El acero también dependerá de las tensiones que está sujeto así como formabilidad, maquinabilidad, dureza, soldabilidad y coste. (HAUSER, y otros, 2004)

El acero en si es resistente al calor y a la corrosión, tienen tres números para poder identificarlos su numeración, el primero especifica el grupo y los dos restantes no tiene significado.

**Tabla 8-2:** Sistema de enumeración para identificar los aceros inoxidables

Designación de la serie	Grupos
2xx	Cromo-níquel-manganeso; no endurecibles, austeníticos, no Magnéticos.
3xx	Cromo-níquel; no endurecibles, austeníticos, no magnéticos.
4xx	Cromo-carbono; endurecibles, martensíticos, magnéticos.
4xx	Cromo; no endurecibles, ferríticos, magnéticos.
5xx	Cromo; bajo cromo, resistentes al calor.

Fuente: (AVNER, 1988)

El acero se forma de una película delgada de óxido de cromo o de níquel la cual previene ante medios corrosivos, esto da una buena propiedad de resistencia a la corrosión al acero inoxidable.

Debido al rango extenso de características y propiedades que presentan los aceros inoxidables lo hacen muy versátiles.

Las características para la selección de aceros inoxidables se detallan a continuación:

- Tienen buenas propiedades mecánicas.
- Excelente rendimiento en trabajo a temperaturas elevadas de corrosión y oxidación.
- Cualidades superiores en los procesos de transformación.
- Facilidad de adquisición del acero.

*Clasificación de los aceros inoxidables.* Los aceros inoxidables según la norma AISI se clasifican de acuerdo a su estructura cristalina y endurecibles por precipitación, en la estructura cristalina las aleaciones a formarse están: martensita, ferrita, austenita y dúplex (formación de austenita más ferrita) y las aleaciones endurecidas por precipitación se basan de acuerdo al tipo de tratamiento que se les aplica.

*Aceros inoxidables martensíticos.* Estos aceros tienen 11,5 y 18 % de cromo, trabajan en frío, son magnéticos, se maquinan con facilidad, tienen buena resistencia a la corrosión, buena tenacidad y también trabajan con facilidad en caliente, entre los más utilizados por este tipo de acero son: 403, 410, 416, 420, 440, 501 y 502. (AVNER, 1988)

*Aceros inoxidables ferríticos.* Este tipo de acero contiene alto cromo de 14-27%, estos aceros a diferencia de los martensíticos poseen más cromo que carbón, se endurecen por trabajo en frío y no por tratamiento térmico, son resistentes a la corrosión y magnéticos en condiciones de recocido. Los aceros que incluyen este tipo son el 405, 430 y 446.

*Aceros inoxidables austeníticos.* Estos aceros se dan por la designación de la serie 2xx y 3xx lo cual resultan austeníticos, no se endurecen por tratamiento térmico, son no magnéticos en condiciones de recocido, poseen mejor resistencia a la corrosión que los aceros inoxidables ferríticos o martensíticos.

El acero inoxidable AISI 304 se encuentra en el mercado sea en forma de planchas, barras, láminas y tubos de acuerdo a los requerimientos del usuario, por sus propiedades que presenta son muy utilizados en la industria alimenticia.

*Acero inoxidable AISI 304.* Este acero es el más utilizado por las propiedades de soldadura y conformado que presenta, siendo de la serie 300 el más versátil, además de tener excelente resistencia a la corrosión, en la siguiente tabla se presenta las propiedades que presenta el acero.

**Tabla 9-2: Propiedades del acero inoxidable AISI 304**

<b>Propiedades mecánicas</b>	Resistencia a la fluencia 310 Mpa (45KSI) Resistencia máxima 620 Mpa (90 KSI) Elongación 30% (en 50 mm) Reducción de área 40 % Módulo de elasticidad 200 Gpa (29000 KSI)
<b>Propiedades físicas</b>	Densidad 7,8 g/cm <sup>3</sup> (0,28lb/in <sup>3</sup> )
<b>Propiedades químicas</b>	0,08 % C mín. 2,00 % Mn 1,00 % Si 18,0 – 20,0 % Cr 8,0 – 10,5 % Ni 0,045 % P 0,03 % S
<b>Usos</b>	Equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego.

Fuente: (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

*Aceros inoxidables austenoferríticos (dúplex).* Estos aceros tienen una estructura cristalina bifásica de ferrita y austenita son magnéticos tienen buena resistencia a la corrosión.

*Aceros inoxidables endurecibles por precipitación.* Mediante la aplicación de un tratamiento térmico estos aceros se endurecen para conseguir la transformación de austenita a martensita. (AVNER, 1988)

Entre los tipos de materiales más utilizados para la industria alimenticia son los aceros inoxidables mencionados anteriormente, por sus propiedades que presentan de ser muy resistentes a la corrosión y al calor.

## 2.8 Metodología y Herramientas de diseño

En el presente contexto se analiza la propuesta metodológica que se va utilizar para la máquina secadora de cacao y las herramientas para su diseño.

Los pasos para realizar el proceso de diseño son los siguientes:

*Identificación de la necesidad.* En la primera fase se refiere la necesidad del usuario, para ello el enunciado será breve y sin detalle. Un ejemplo en nuestro caso sería realizar la secadora de cacao debido al incremento de tiempo que lleva en el proceso de forma natural, para lo cual se considerara la velocidad de aire, temperatura y humedad para el proceso y así obtener un producto de calidad. (BUDYNAS, et al., 2008)

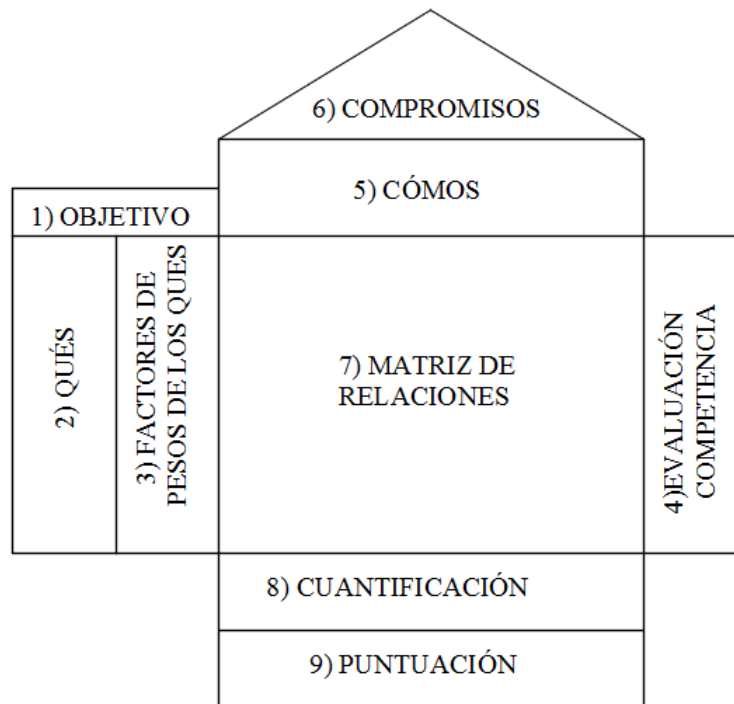
*Investigación preliminar.* Esta fase es una de las más importantes en el desarrollo del proceso, es aquí donde se realiza una investigación profunda, se analiza si el problema a plantearse aún no ha sido resuelto, si la solución que se requiere se lo encuentra en el mercado, si es más económico adquirirlo que crear una solución propia. Es necesario realizar una investigación del arte la cual está asociado con productos parecidos y tecnologías, o en muchos casos ciertas empresas aplican el benchmarking (compara y mejora el producto). (NORTON, 2009)

*Diseño conceptual.* Es la parte fundamental del diseño donde se plantea las posibles soluciones para conseguir el diseño final del producto.

Es la etapa donde se analizan los diferentes conceptos de funcionamiento, opciones de diseño, entre otras, es decir, identificación de los problemas esenciales a tratar, especificaciones de desempeño, la estructura funcional, el diseño modular, y el aseguramiento de la calidad. (RIBA ROMEVA, 2002)

Una de las metodologías más comunes a emplearse para realizar el diseño de la secadora automática para cacao es mediante el diseño conceptual conocida como la matriz QFD (Diseño para la calidad).





**Figura 9-2:** Casa de la calidad

Fuente: (RUIZ, y otros, 2009)

Para la elaboración de la matriz QFD o casa de la calidad se necesita conocer la voz del usuario la cual representa las necesidades y requerimientos acerca de la máquina, mediante la voz del usuario se realiza una interpretación técnicamente lo que constituye la voz del ingeniero, esta a su vez busca las posibles soluciones planteadas por el usuario, y finalmente se realiza la evaluación respectiva de los criterios técnicos para determinar cuál es el más influyente en el diseño.

*Diseño preliminar.* Esta etapa es de determinación y concretización de las componentes en su forma específica, materiales propuestos, el tiempo de funcionamiento, las velocidades de los diferentes sistemas, las dimensiones de los planos de conjuntos de dicho diseño, ya sea simples o complejas. (BUDYNAS, et al., 2008)

En el dimensionamiento de los planos de conjunto de la máquina, se aplica las diferentes ecuaciones, extraídas de los diferentes libros de diseño de elementos de máquina y mecanismos. Sus respectivos análisis y comprobaciones se aplican mediante software CAD.

*Diseño detalle.* Este comprende el ensamble total del dibujo detalladamente, documentos de diseño realizados por computadora, cada uno de los elementos especificados con las dimensiones y material. (NORTON, 2009)

El diseño de detalle es la última etapa de proceso que “tiene por objeto el despliegue de todos los documentos necesarios para la fabricación del producto”. (RIBA ROMEVA, 2002)

*Documentación.* Esta etapa se recopila toda la información procesada, de forma ordenada, para la presentación final. Aplicación de la norma INEN (Documentación, presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación).

*Solución.* Es una etapa final de solución al problema planteado, pero en muchos de los casos no hay solución única hay varias unas que serán correctas y otras que no funcionarán en la ingeniería de diseño es decir no hay una respuesta correcta razón por la cual lo hace interesante. (NORTON, 2009)

*Software para el diseño de la secadora automática para cacao.* Entre el software a emplearse para el diseño de la secadora automática para cacao son los siguientes: SAP 2000, ANSYS, SOLIDWORKS, AUTOCAD.

*SAP 2000.* Este es un programa de cálculo estructural para análisis de pandeo basado en el método de elementos finitos (MEF), permite el análisis de cargas, la selección de perfiles para cualquier miembro estructural, en vigas para visualizar los diagramas de cortantes como también los diagramas de momentos, análisis de esfuerzos entre otros.

Este software en la maquina se empleará para el análisis de la estructura base, soporte pórtico y escalera.

*ANSYS.* Es un software para simulación bajo la teoría de elementos finitos empleado para análisis estructural, transferencia de calor, dinámica de fluidos, para la resistencia de materiales, determinación de esfuerzos.

Se empleará para el análisis del sistema removedor el cual determinará la resistencia del material seleccionado.

*SOLIDWORKS*. Es un software de diseño asistido por computadora para modelado mecánico en 3D, permite modelar piezas y conjuntos como también la representación de planos, facilita la simulación para de esta manera visualizar su funcionamiento.

Mediante este software se realizará la solución modular de la respectiva máquina con cada uno de sus elementos, como también realizar los planos respectivos para su posterior construcción.

*AUTOCAD*. Este software permite el diseño asistido por computadora, la modelación se lo hace en 2D o 3D, la forma más rápida para representar los planos.

También se empleará para realizar los respectivos planos de la máquina, cada uno de los elementos que constituye con sus medidas adecuadas a nuestro diseño y de esta manera poder representarlo.

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Mediante el estudio y análisis de alternativas a tomar en cuenta para el diseño se determinarán la durabilidad de la máquina, características de calidad entre otros parámetros, para el cual debe seguirse un proceso adecuado y ordenado que cumpla con las especificaciones requeridos por el usuario.

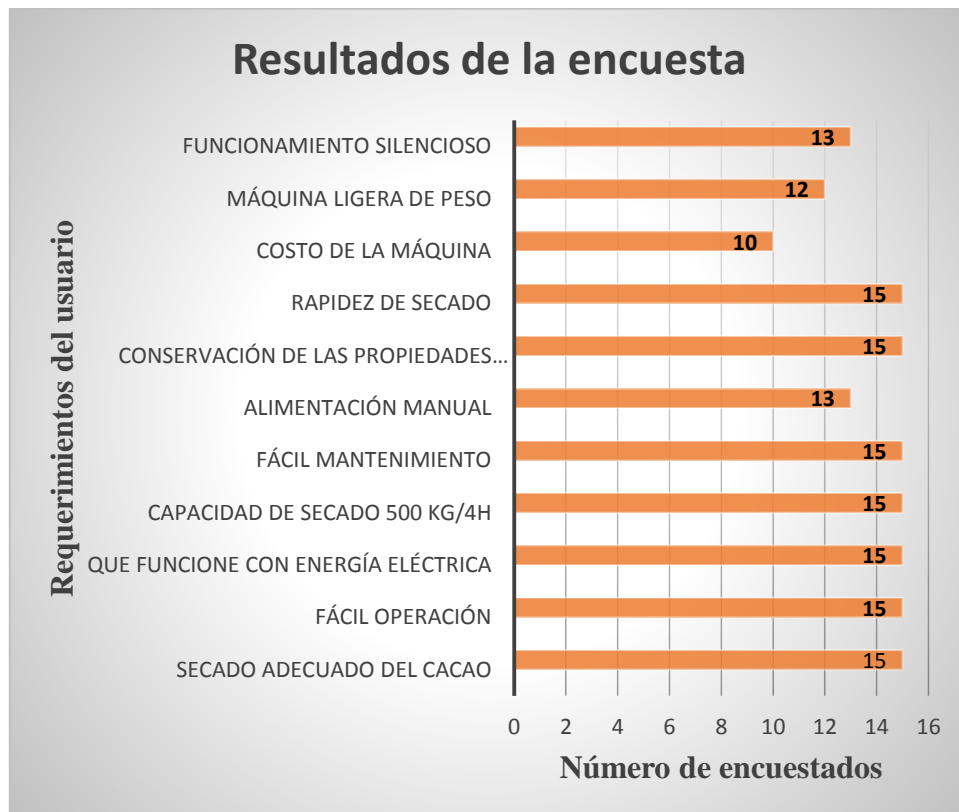
#### 3.1 Determinación de las especificaciones de la máquina

La máquina seleccionada debe garantizar las especificaciones y requerimientos que requiere el usuario, es decir realizar el secado de cacao en menor tiempo posible y obtener mayor producción.

*Matriz QFD (Quality function deployment).* La calidad es el conjunto de características y propiedades de un servicio o producto que le confiere la aptitud para satisfacer ciertas necesidades expresadas. (RIBA ROMEVA, 2002)

*Desarrollo de la función de calidad, QFD.* La matriz QFD se realizará conociendo el requerimiento del usuario, en la cual se dan a conocer las necesidades y requerimientos del usuario, esos criterios a su vez son traducidos e interpretados técnicamente por el ingeniero, “finalmente se evalúan los criterios técnicos para determinar los que tienen mayor influencia en el diseño”. (RIBA ROMEVA, 2002)

*Voz del usuario.* Para determinar los requerimientos del usuario se realiza la respectiva encuesta en el lugar de implementación de la máquina, el cual se ha considerado la encuesta a 15 personas de la localidad.



**Figura 1-3:** Resultados de la encuesta

Realizado por: Autores

Según los requerimientos del usuario la máquina debe contar con las siguientes características:

- Secado adecuado del cacao.
- Fácil operación.
- Que funcione con energía eléctrica.
- Capacidad de secado 500kg/4h.
- Fácil mantenimiento.
- Alimentación manual.
- Conservación de las propiedades de cacao.
- Rapidez de secado.
- Costo de la máquina.
- Máquina ligera de peso.
- Funcionamiento silencioso.


*Voz del ingeniero.* Después de analizar los requerimientos mencionados por el usuario, se describe de forma técnica obteniendo las siguientes características:

- Nivel de automatización.
- Consumo de energía.
- Materiales.
- Dimensiones del equipo.
- Nivel de ruido.
- Intercambiabilidad de elementos.
- Ergonomía.
- Secado uniforme.
- Consumo de combustible.
- Volumen de producción.
- Nivel de transferencia de calor.
- Velocidad de aire.
- Control de temperatura.

*Resultados de la matriz QFD.* Se detalla en el Anexo A.

En el análisis de competencia, la columna A se evalúa el cumplimiento del producto actual en la empresa, en este caso se lo califica con 1 en todos los parámetros ya que no se cuenta con ningún producto previamente elaborado. En las columnas B y C se evalúan el cumplimiento de productos de la competencia de otras empresas encargadas en el diseño y construcción de máquinas secadoras de cacao, con los mismos parámetros. (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

**Tabla 1-3:** Ficha técnica de la competencia 1

	<b>COMPETENCIA 1</b> DATOS TÉCNICOS – PARTES PRINCIPALES	<b>Ficha: 1</b> <b>Tipo:</b> Secadora de cacao rotatoria
<b>Año:</b> 2017	CONSTRUCCIONES MECÁNICAS GARCIA MONTERO	<b>Dirección:</b> Quevedo - Ecuador
<b>EQUIPO</b>		<b>DATOS TÉCNICOS</b>
	<b>Marca</b>	Nacional
	<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
	Motor: SIEMENS trifásico Potencia: 2,2 KW Frecuencia: 60 Hz Voltaje: 220 – 230 V Velocidad: 1800 RPM Amperaje: 5,19 – 8,96 A Cos Ø: 0,76	Dimensiones: Largo: 3,91 m Alto: 1,75 m Ancho: 3,31 m
<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Parámetros</b>	
Capacidad de secado	1500 kg	
Peso	900 kg	
Tempo de secado	6 – 7 horas	
Temperatura de secado (°C)	40 – 60	
Velocidad de trabajo	4 RPM	
Ruido	85 – 90 dB	
Material del cilindro	Galvanizado	
Estructura pórtico	Acero estructural A36	
Perfil angular	30x30x3	
Perfil U	150x50x3	
Eje	3 plg	
Chumaceras	3 plg	
Puesta en marcha	ON/OFF	
Sistema de transmisión	Mixto	
Tipo de transmisión	Bandas ( trapezoidal) y engranes (piñón – cremallera)	
Combustible	GLP	
Quemador	Industrial	
Ventilador	Centrífugo	

Realizado por: Autores

**Tabla 2-3:** Ficha técnica de la competencia 2

	<b>COMPETENCIA 2</b>	<b>Ficha: 2</b>
	DATOS TÉCNICOS – PARTES PRINCIPALES	<b>Tipo:</b> Secadora de cacao rotatoria
<b>Año:</b> 2017	CONSTRUCCIONES MECÁNICAS GARCIA MONTERO	<b>Dirección:</b> Quevedo – Ecuador
<b>EQUIPO</b>		<b>DATOS TÉCNICOS</b>
		<b>Marca</b> Nacional
		<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>
		Motor: WEG Trifásico      Dimensiones: Potencia: 3,7 KW              Largo: 4,75 m Frecuencia: 60 Hz            Alto: 1,85 m Voltaje: 220 – 230 V          Ancho: 4,15 m Velocidad: 1730 RPM Amperaje: 14,3 A Cos Ø : 0, 88
<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</b>		
<b>Descripción</b>		<b>Parámetros</b>
Capacidad de secado		1300 kg
Peso		1460 kg
Temperatura de secado (°C)		40 – 60
Velocidad de trabajo		2 RPM
Ruido		90 - 95 dB
Material Cilindro		Acero galvanizado
Estructura de soporte del removedor		Acero estructural A500
Puesta en marcha		ON/OF
Tiempo de secado		7 – 8 horas
Sistema de transmisión		Piñón - Cremallera
Caja reductora		Axial
Quemador		Industrial interno con GLP
Ventilador		Centrífugo
Chumaceras		2,5 plg
Eje		2,5 plg
Perfil angular		30x30x3
Perfil U		150x50x3
Perfil cuadrado para el removedor		3 plg

Realizado por: Autores

Su evaluación está dada por la siguiente expresión:



$$\text{Índice de mejora} = \frac{\text{Objetivos}}{\text{Propia empresa}} \quad (12)$$

La ponderación se determina con la siguiente ecuación:

$$\text{Ponderación} = \text{índice de mejora} * \text{factor de venta} * \text{importancia} \quad (13)$$

Para la incidencia se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Incidencia} = \Sigma * \text{ponderación} \quad (14)$$

*Conclusiones de la matriz QFD.* La evaluación obtenida de la matriz QFD, interpretados la voz del usuario, la voz del ingeniero y el análisis de competencia, los criterios técnicos de mayor importancia son los siguientes:

- Volumen de producción.
- Secado uniforme.
- Consumo de energía.
- Nivel de transferencia de calor.
- Velocidad de aire.
- Nivel de automatización.

Donde el requerimiento técnico más importante es el volumen de producción 500Kg/3h, el cual determina la capacidad de la máquina.

### **3.2 Especificaciones técnicas**

El análisis de la matriz QFD detallará las especificaciones técnicas de la máquina.

**Tabla 3-1:** Especificaciones técnicas de la máquina

<b>Empresa cliente:</b> Usuario		<b>Producto:</b> Máquina automática para secar cacao		<b>Fecha inicial:</b> 2016-08-16 <b>Última revisión:</b> 2017-09-18
<b>Diseñadores:</b> Germán Saquinga Oswaldo Cueva				Página 1.
<b>Especificaciones</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Propone</b>	<b>R/D</b>	<b>Descripción</b>
Función		D	R	Velocidad de aire ventilador (0,25 – 2,5)m/s
Materiales		C	R	Acero inoxidable AISI 304, Acero estructural A36
Construcción y montaje		D	R	500 kg/4horas
		C	R	Diversidad de producción, 2 tipos de cacao (cacao fino de aroma, cacao CCN51)
Vida útil y mantenimiento		D	D	En operación: 10 años; fiabilidad de 90 %
		D	R	Fácil mantenimiento, intervalos de servicio 1/día
Energía		C	R	Energía eléctrica de 220V
Dimensiones		C	R	Altura máxima del depósito de alimentación debe ser de 1,22m
Señales y control		C	R	Sensores de nivel de temperatura RTD, Termopar, Termistores
		C	R	PLC (Controlador lógico programable)
Seguridad y ergonomía		C	R	El nivel de ruido no debe ser mayor de 75 dB
		D	R	Ubicación de los componentes de control
<p>Propone: M = Marketing, C = Cliente, D = Diseño, P = Producción, F = Fabricación.</p> <p>R/D: R = Requerimiento, D = Deseo, MR = Modificación de requerimiento.</p>				

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

### 3.3 Análisis funcional

Este método permite identificar las funciones principales y las funciones secundarias de la máquina secadora automática para cacao. Las funciones principales son aquellas por las que el cliente compra el producto, que en este caso es el secado de cacao fino de aroma y cacao CCN51.

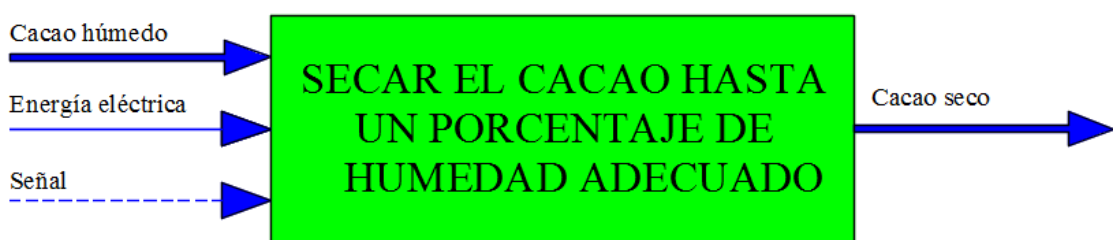
Las funciones secundarias son aquellas que permiten que la función primaria se ejecute satisfactoriamente, y son las que se determinarán mediante este análisis.

Una vez establecidas todas las funciones secundarias se procede a plantear posibles soluciones, que sean convenientes para desempeñar dichas funciones, para proceder a seleccionar las más viables además, estas funciones pueden ser agrupadas y desglosadas en módulos.

La descomposición funcional del producto se llevará a cabo mediante diagramas de flujo en los que aparecerá cada función, que puede tener 3 tipos de entradas y salidas: señal, material y energía. Los diagramas de flujo se presentarán en diferentes niveles, comenzando con el nivel 0 o función global, y continuando hasta el nivel que se estime conveniente.

Es conveniente desarrollar el diagrama funcional hasta un nivel 2 o 3. La figura siguiente muestra la manera de representar la estructura funcional.

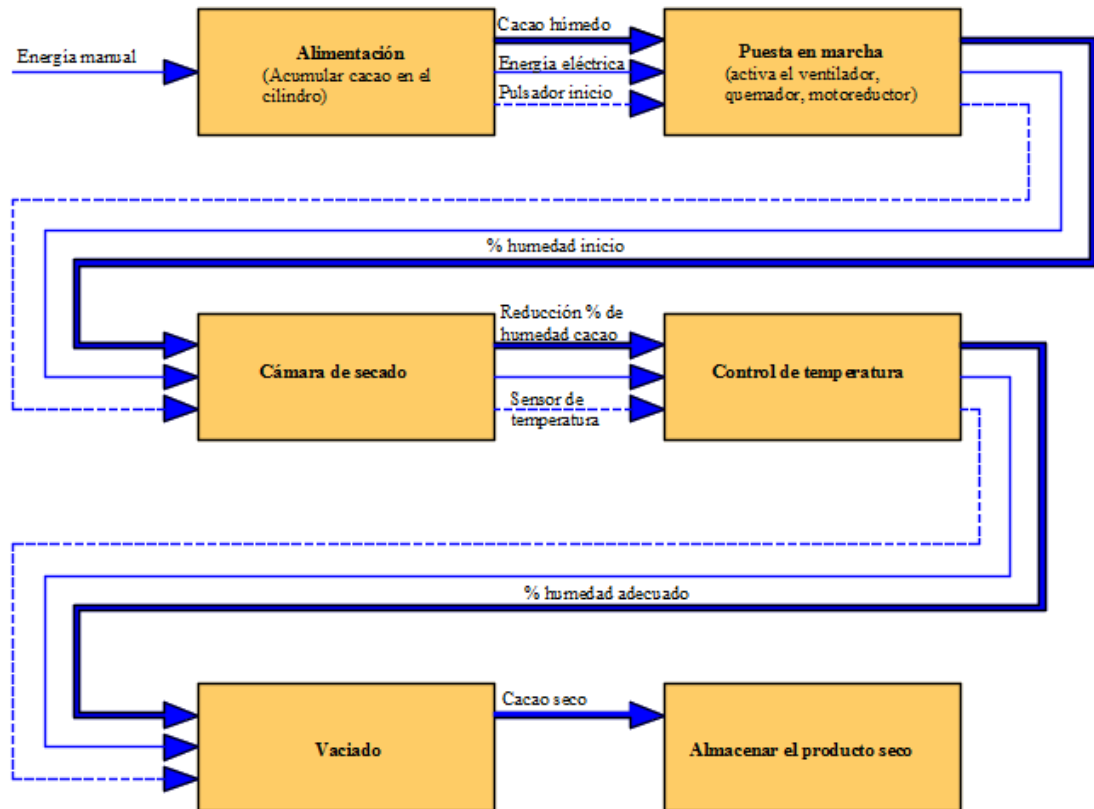
El diagrama funcional de nivel 1 es el que se muestra en la figura.



**Figura 2-3:** Función de la máquina

Realizado por: Autores

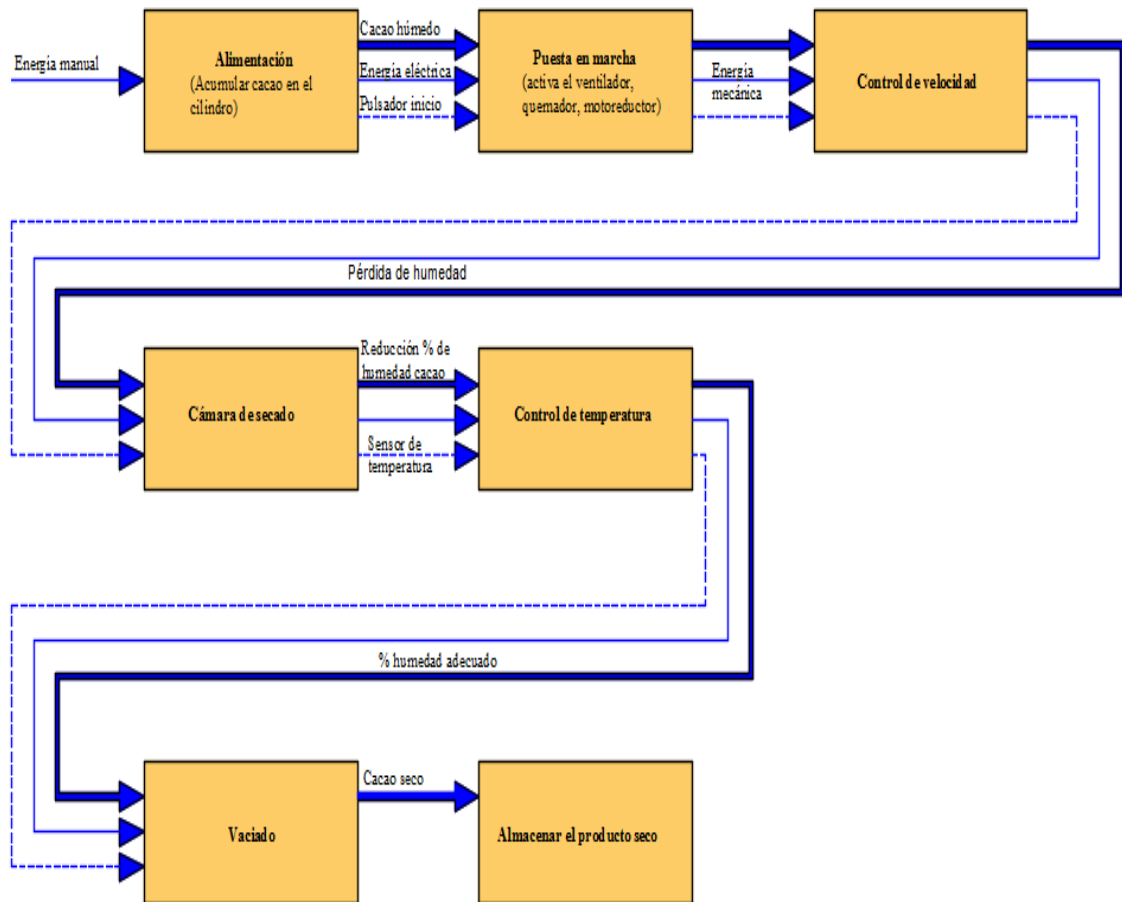
En el nivel 2 se indican las funciones que se requieren para el funcionamiento respectivo de la máquina y de esta manera conseguir el nivel 1 propuesto.



**Figura 3-3:** Diagrama de funciones secundarias de la máquina

Realizado por: Autores

En el nivel 3 se presenta la función para realizar el respectivo control de la velocidad de los removedores, para lo cual se ha añadido un módulo antes de la etapa de la cámara de secado.

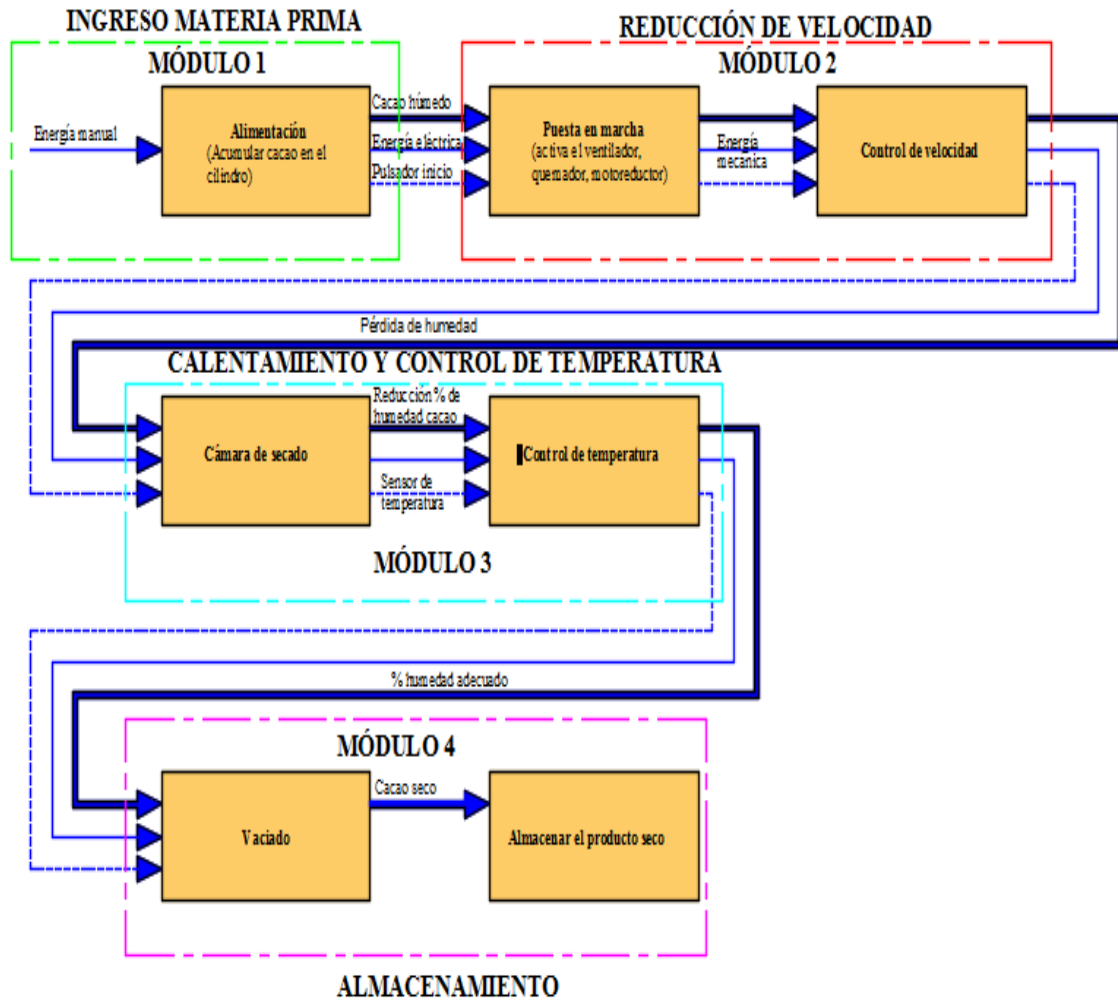


**Figura 4-3:** Diagrama funcional secundaria de todo el equipo

Realizado por: Autores

El segundo nivel presenta un diagrama donde no especifica el funcionamiento completo para el proceso de secado, el cual se optara por incrementar un nivel más detallado para el procedimiento dando como solución un nivel tres, para finalmente desarrollar las posibles soluciones de cada módulo.

*Definición de módulos.* El proceso se divide en varios bloques funcionales, contribuyendo a la reducción de costos, facilidad de mantenimiento y se facilitará la producción.



**Figura 5-1:** Estructura modular

Realizado por: Autores

En el diseño de la máquina secadora automática de cacao las funciones permiten que se de en cuatro módulos, desde el ingreso de la materia prima hasta el almacenamiento, de esta manera se obtiene el resultado esperado la cual es el cacao seco con un porcentaje de humedad adecuado.

*Alternativas de solución para cada módulo.* Los módulos cumplen con las siguientes funciones.

*Módulo 1.* Este módulo cumple con la siguiente especificación.

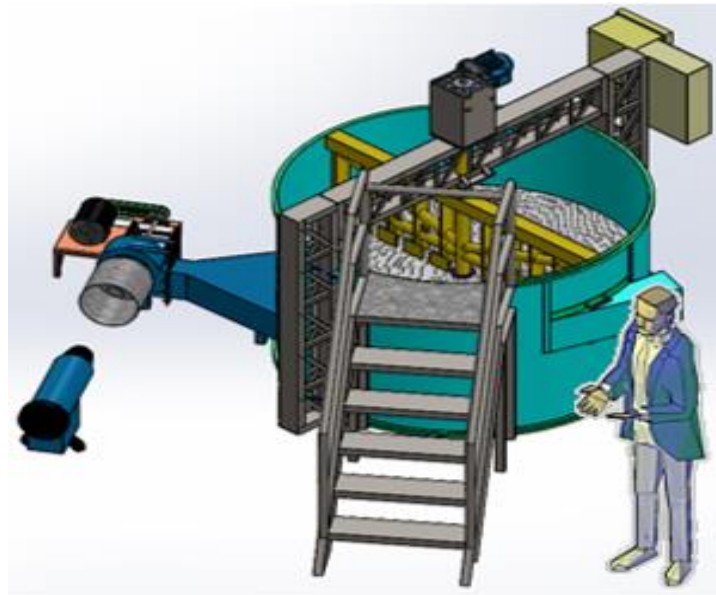
- Alimentación.

A continuación se detalla el proceso de este módulo y se proponen alternativas para seleccionar la más adecuada.

*Alimentación.* Acumulación de cacao en el cilindro.

La alimentación se puede realizar ya sea de forma manual o automática.

*Alimentación manual.* Consiste en colocar sobre el cilindro el cacao mediante una escalera estructural manualmente por parte del operario.



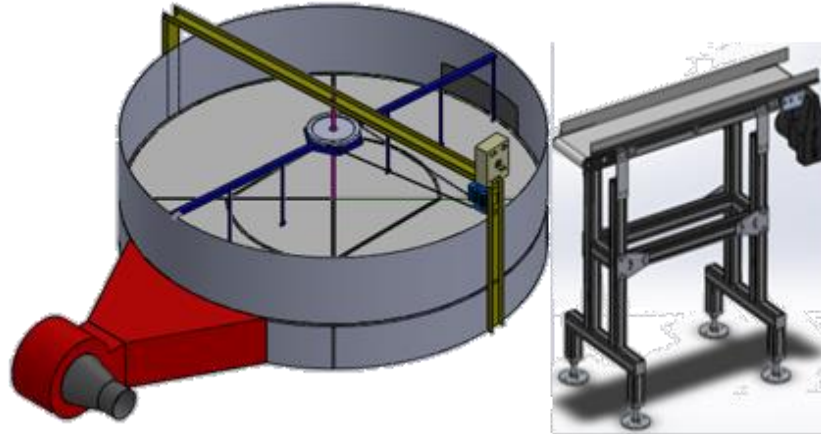
**Figura 6-3:** Alimentación manual del cacao

Realizado por: Autores

*Ventaja.* Facilidad de depósito de cacao en el contenedor lo que garantiza ergonomía para la persona que lo va requerir la máquina.

*Desventaja.* Desgaste físico de la persona.

*Alimentación automática.* Este proceso es rápido y permanente, la etapa de alimentación puede estar dispuesta por una banda transportadora y su descarga esta direccionada al cilindro.



**Figura 7-3:** Alimentación automática mediante banda transportadora

Realizado por: Autores

*Ventaja.* Menos tiempo y seguridad de descarga de cacao en el depósito.

*Desventaja.* Tiene elevados costos de construcción, además que el usuario no requiere de su implementación.

*Módulo 2.* Este módulo cumple la función de regular la velocidad de los removedores para realizar su posterior secado.

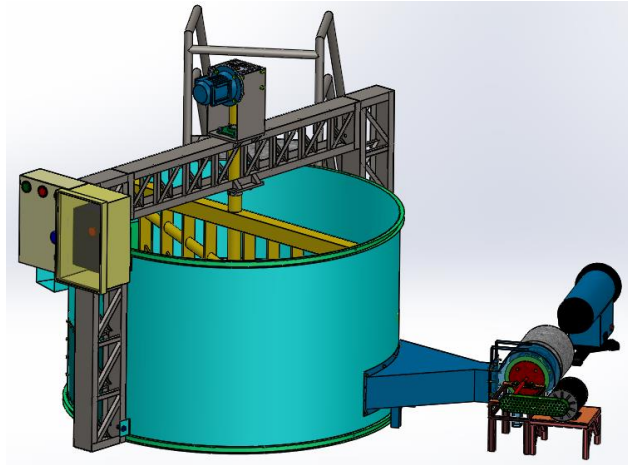
Las funciones a realizar son:

- Puesta en marcha.
- Control de velocidad.

*Puesta en marcha.* Este a su vez se puede realizar mediante un sistema motriz horizontal, vertical y por engranes pero cada una con ciertas ventajas y desventajas.

*Sistema motriz horizontal.* Este sistema dispone de un reductor el cual da la ubicación del eje en posición vertical y se acopla mediante el eje a los removedores para cumplir con su respectiva función.





**Figura 8-3:** Sistema motriz horizontal

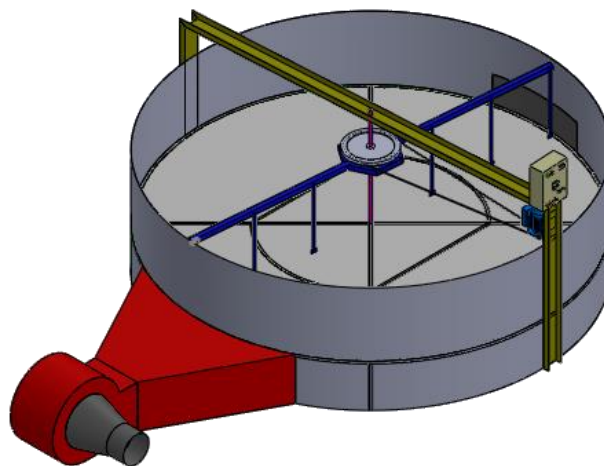
Realizado por: Autores

Ventajas:

- Permite reducir la velocidad requerida por el usuario.
- Fácil mantenimiento y operación.

*Desventaja.* Requiere de un variador de frecuencia para su funcionamiento.

*Sistema motriz vertical.* Dispone de un motor en posición vertical que se acopla al eje mediante una transmisión por bandas para ser transmitidos al sistema removedor.



**Figura 9-3:** Sistema motriz vertical

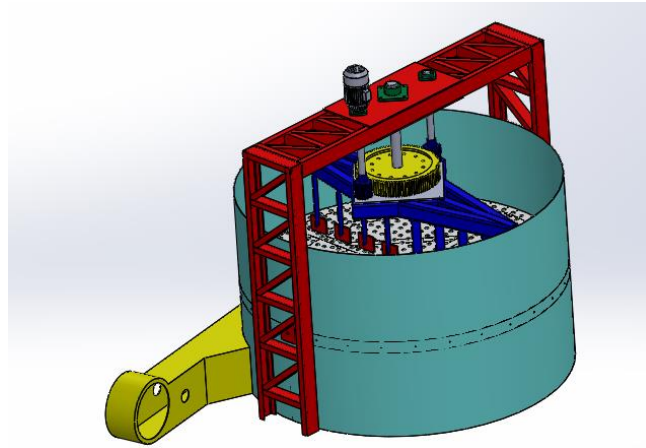
Realizado por: Autores

*Ventaja.* Fácil mantenimiento y operación.

Desventajas:

- Desgaste de bandas.
- Incremento de materiales.

*Sistema de engranes.* Mediante un motor se acopla al piñón y este a su vez a la rueda para transmitir el movimiento de los removedores.



**Figura 10-3:** Sistema de engranes

Realizado por: Autores

Desventajas:

- Costo elevado.
- Mayor costo de mantenimiento.

*Control de velocidad.* Para la reducción de la velocidad en este caso se ha seleccionado dos posibles soluciones sea con un motorreductor, mediante transmisión por bandas y por engranes.

*Motorreductor.* Este a su vez tiene un motor acoplado directamente que tiene la finalidad de reducir la velocidad de salida para de esta manera ser removido el grano de cacao mediante removedores.

Ventajas:

- Reduce la velocidad en una forma segura y eficiente.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos de mantenimiento.
- Ocupa menor espacio y mayor rigidez en el montaje.

*Transmisión por bandas.* Para este sistema se lo realizaría mediante poleas para reducir la velocidad.

Desventajas:

- Mayor costo de la máquina.
- Facilidad de desgaste.
- Incremento de peso sobre la estructura pórtica.

*Transmisión por engranes.* Reduce la velocidad de los removedores mediante los engranes.

Desventajas:

- Mayor peso sobre la estructura.
- Difícil intercambiabilidad de elementos.

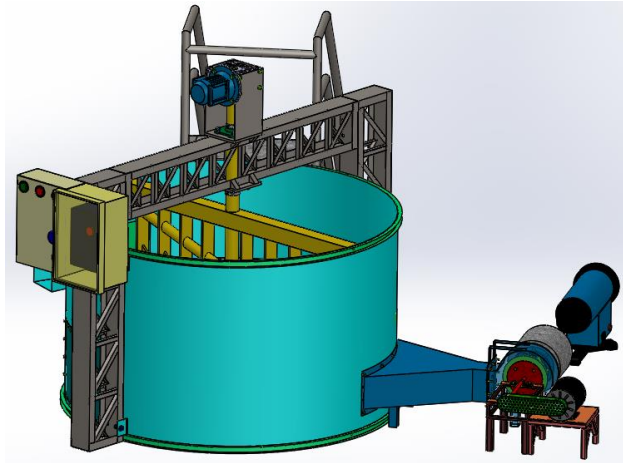
*Módulo 3.* Este módulo cumple la función de realizar el calentamiento respectivo y el control de temperatura.

Las funciones a realizar son:

- Cámara de secado.
- Control de temperatura.

*Cámara de secado.* Este sistema depende de la ubicación de ingreso de aire caliente a la cámara que en este caso puede ser tangencial o radialmente.

*Sistema radial.* Este sistema permite tener un secado uniforme ya que el aire caliente que ingresa se distribuye en todo el contenedor.



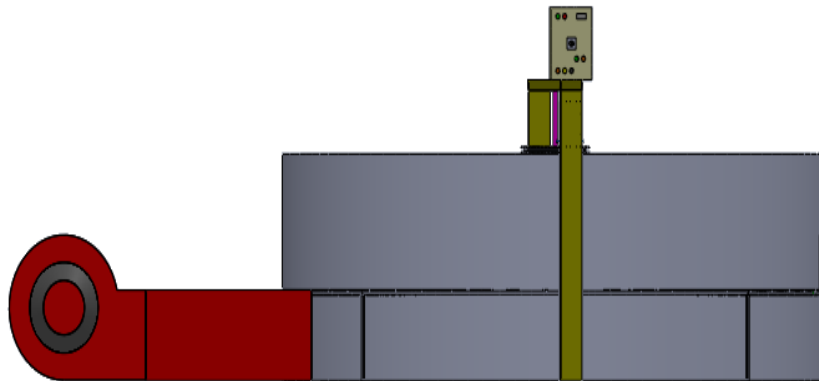
**Figura 11-3:** Ingreso de aire caliente radialmente

Realizado por: Autores

Ventajas:

- Ingresar el aire uniforme hacia el interior de la cámara de secado.
- Sistema adecuado para este tipo de proceso.

*Sistema tangencial.* En este tipo de sistema el aire ingresa en la dirección de la estructura póstica, es utilizable pero no muy recomendada.



**Figura 12-3:** Ingreso de aire caliente tangencialmente

Realizado por: Autores

Desventajas:

- El aire que ingresa no se distribuye uniforme.
- Baja utilización.

*Control de temperatura.* Este instrumento permite la regulación de temperatura durante el proceso de secado, que a su vez pueden ser mediante sensores de temperatura como: RTD, termistor, termopar, etc.

*RTD.* Este tipo de sensor de temperatura es un instrumento de medición preciso.

Ventajas:

- Rango de temperatura -200-850°C.
- Estabilidad para periodos largos.

Desventajas:

- Muy costoso.
- Velocidad de respuesta lenta.

*Termopar.* También llamado termocupla, este instrumento que controlará el calor que ingresa a la cámara de secado, esto dependerá de la velocidad de aire caliente a la salida.

Ventajas:

- Son económicos.
- Rango de temperatura -200-2000°C.
- Velocidad de respuesta rápida.

*Desventaja.* Menos precisión.

*Módulo 4.* Este módulo es la etapa final del proceso, la cual cumple con la función del vaciado y almacenamiento del producto.

- Vaciado.
- Almacenamiento del producto seco.

*Vaciado.* Puede ser manual o automático dependiendo las condiciones del usuario.

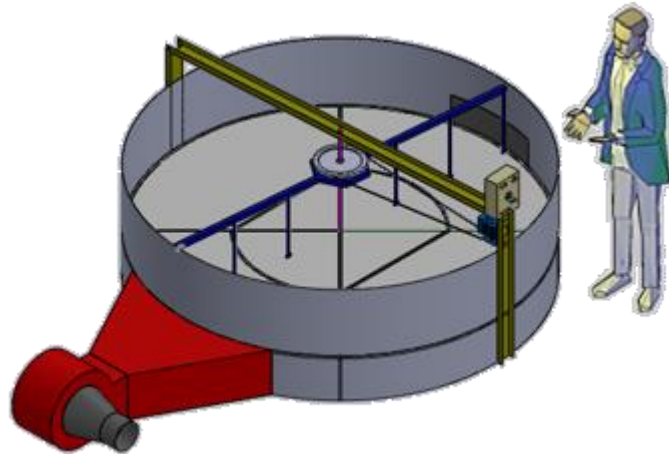
*Vaciado automático.* Es un proceso rápido y se consigue mayor producción, mediante la utilización del PLC.

Ventajas:

- Reducción de costo de mano de obra.
- Vaciado rápido.

*Desventaja.* Requiere de personal calificado para el manejo.

*Vaciado manual.* Consiste en retirar el cacao manualmente del contenedor.



**Figura 13-3:** Vaciado manual

Realizado por: Autores

*Desventaja.* Mayor mano de obra.

*Almacenamiento de producto seco.* El producto se puede depositar en contenedores apropiados para su conservación de propiedades.

*Depósito directo.* Se realiza el depósito en los sacos para mantener las propiedades del cacao.

Ventajas:

- Facilidad de vaciado y transportación.
- Acoplamiento adecuado con el contenedor.
- Conservación de las propiedades del producto.

*Depósito rectangular.* Este depósito no es muy adecuado para este tipo de trabajo.

Desventajas:

- Ocasiona daños al producto.
- Difícil transportación.

- Pérdida de propiedades del cacao.

*Depósito mediante ruedas.* Es adecuado para la persona que lo va transportar el producto.

Ventajas:

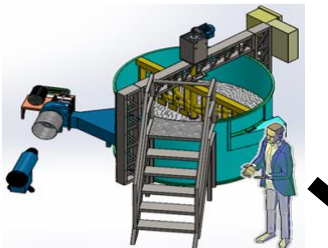
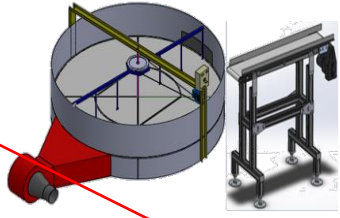
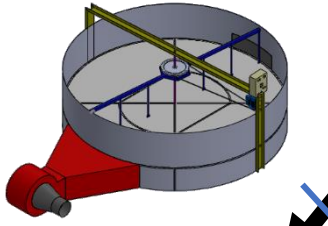
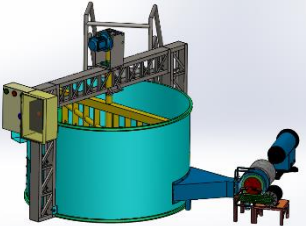
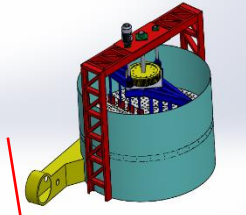
- Fácil transportación.
- Menor desgaste físico.

### 3.4 Alternativas de módulos


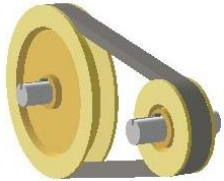
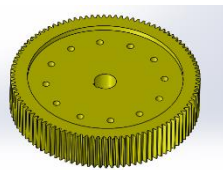
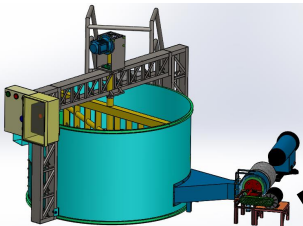
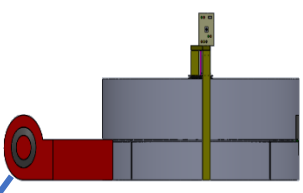
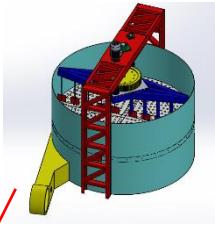
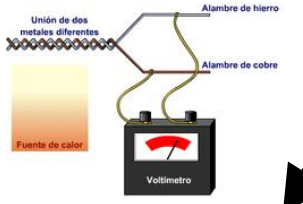


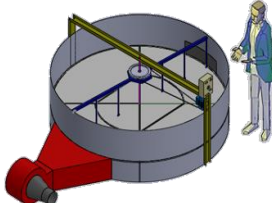
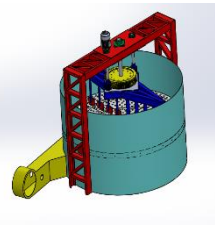

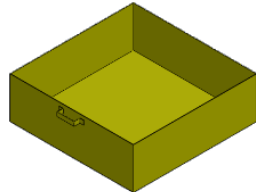
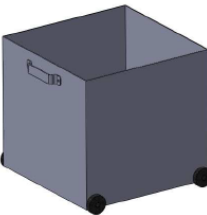
Para determinar las diferentes alternativas de los módulos es necesario analizar cada función de los elementos constitutivos de los mismos.

El resultado de la combinación de las alternativas se muestra en la posterior tabla donde se muestran 3 alternativas de solución partiendo de dos métodos de alimentación como es manual y automático.

**Tabla 4-3:** Matriz morfológica de soluciones para cada módulo

SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO	COMPONENTES		
Alimentación	Alimentación manual 	Alimentación automático 	
Puesta en marcha	Sistema motriz vertical 	Sistema motriz horizontal 	Sistema de engranes 

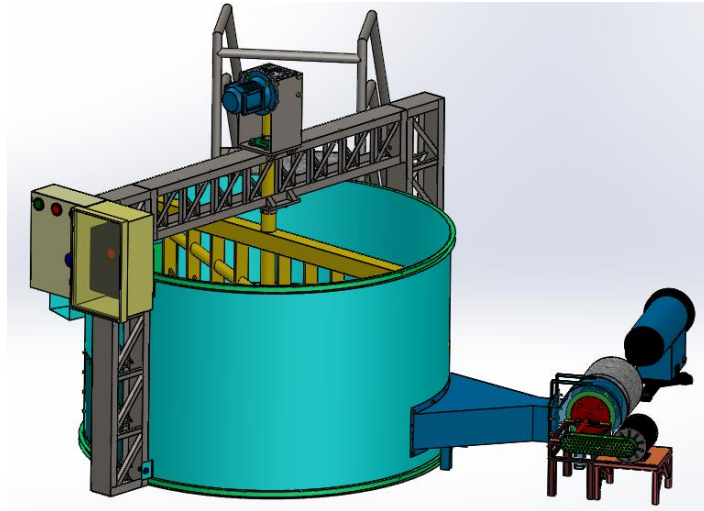
**Tabla 4-3:** (Continua) Matriz morfológica de soluciones para cada módulo

Control de velocidad	<p>Motorreductor</p> 	<p>Reducción por bandas</p> 	<p>Reducción por engranes</p> 
Cámara de secado	<p>Sistema radial</p> 	<p>Sistema tangencial</p> 	<p>Sistema tangencial</p> 
Control de temperatura	<p>Sensor de temp. Termopar</p> 	<p>Sensor de temp. RTD</p> 	
Vaciado	<p>Vaciado automático</p> 	<p>Vaciado manual</p> 	<p>Vaciado manual</p> 
Depósito	<p>Depósito directo</p> 	<p>Depósito rectangular</p> 	<p>Depósito con ruedas</p> 
Soluciones	<p><b>Alternativa 1</b></p>	<p>Alternativa 2</p>	<p>Alternativa 3</p>

Realizado por: Autores



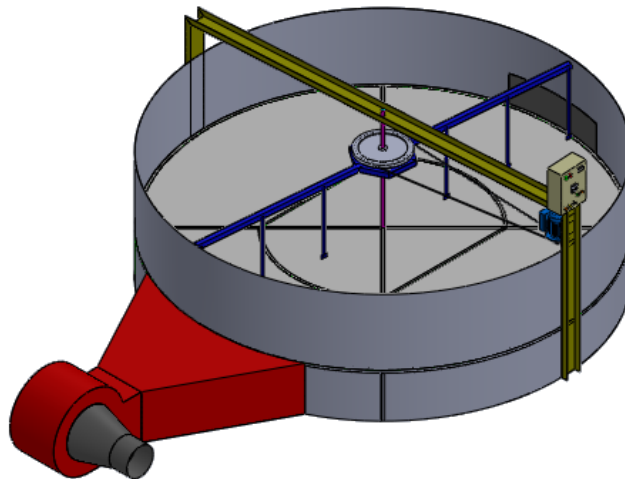
Todos los componentes que señala la flecha de color negro dan la solución de la alternativa 1 el cual se trata de la máquina secadora automática para cacao con un sistema motriz horizontal.



**Figura 14-3:** Alternativa 1

Realizado por: Autores

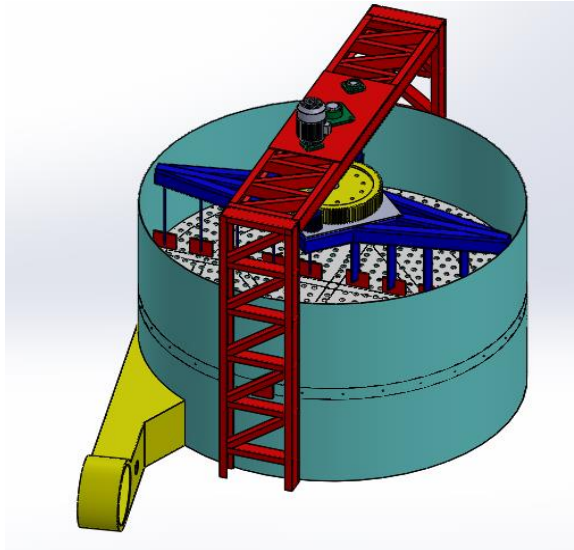
En la alternativa 2 que sigue la secuencia con la flecha de color azul se presenta la máquina secadora automática para cacao mediante un sistema motriz en posición vertical.



**Figura 15-3:** Alternativa 2

Realizado por: Autores

La alternativa 3 sigue la secuencia de la línea roja el cual se detalla de la siguiente manera:



**Figura 16-3: Alternativa 3**

Realizado por: Autores

### 3.5 Evaluación de soluciones

Se analiza los criterios tomados en cuenta para el diseño bajo la alternativa seleccionada para lo cual se considera parámetros en el que se evalúa según las especificaciones que se indican con los valores establecidos.

Para la evaluación se considera lo siguiente:

*Alternativas.* Se realiza la comparación con las alternativas propuestas mediante el análisis morfológico.

*Criterios.* Mediante el desarrollo de la matriz QFD se determinan los criterios más relevantes según la alternativa seleccionada.

*Método ordinal corregido de criterios ponderados.* “La forma de predecir una solución entre diversas soluciones, basta conocer el orden de preferencia de evaluación. Por esta razón se recomienda el método ordinal corregido de criterios ponderados que sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados significativos. ” (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

Los criterios tomados en cuenta se evalúan de la siguiente manera:

- “1 Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor;>) que el de las columnas”. (RIBA ROMEVA, 2002)

- “0,5 Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente ( $\equiv$ ) al de las columnas”. (RIBA ROMEVA, 2002)
- “0 Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; $<$ ) que el de las columnas”. (RIBA ROMEVA, 2002)

### 3.6 Criterios de valoración del módulo

Con el fin de determinar la alternativa “más conveniente, se emplea el método ordinal corregido de criterios ponderados”. (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

Las consideraciones más determinantes se indican a continuación:

- *Volumen de producción.* Se considera muy importante este criterio ya que depende del nivel de automatización del equipo.
- *Secado uniforme.* Es primordial para conservar las características del producto, el sistema de ingreso de aire caliente a la cámara de secado debe estar en la posición correcta.
- *Consumo de energía.* Dependiendo de los equipos de utilización más adecuados para la máquina se puede reducir el consumo de energía.
- *Nivel de transferencia de calor.* Es importante determinar el calor de ingreso a la cámara de secado para reducir el porcentaje de humedad en el grano.
- *Velocidad de aire.* De este depende que el cacao se seque más rápido y aumente la producción.
- *Nivel de automatización.* Reduce la mano de obra y aumento en la producción para el sector donde se encuentre ubicado.

A partir de estos datos iniciales se procede a evaluar los pesos específicos de cada criterio.

**Tabla 5-3:** Evaluación del peso específico de cada criterio

CE = Consumo de energía > VA = Velocidad de aire > NTC = Nivel transferencia de calor > NA = Nivel automatización > SU = Secado uniforme > VP = Volumen de producción

Criterio	VP	SU	CE	NTC	VA	NA	$\Sigma+1$	Ponderación
Volumen de producción	1	0	0	0	0	0	1	1/21
Secado uniforme	1	1	0	0	0	0	2	2/21
Consumo de energía	1	1	1	1	1	1	6	6/21
Nivel de transferencia calor	1	1	0	1	0	1	4	4/21
Velocidad de aire	1	1	0	1	1	1	5	5/21
Nivel de automatización	1	1	0	0	0	1	3	3/21
<b>Suma</b>							21	1

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

**Tabla 6-3:** Evaluación del peso específico volumen de producción

Solución 1 > Solución 2 > Solución 3

Volumen de producción	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	1	1	1	3	3/6
Solución 2	0	1	0	1	1/6
Solución 3	0	1	1	2	2/6
<b>Suma</b>				6	1

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

**Tabla 7-3:** Evaluación del peso específico secado uniforme

Solución 1 > Solución 2 > Solución 3					
Secado uniforme	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	3/6
Solución 2	0		0,5	1,5	1,5/6
Solución 3	0	0,5		1,5	1,5/6
<b>Suma</b>				6	1

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

**Tabla 8-3:** Evaluación del peso específico consumo de energía

Solución 1 > Solución 2 > Solución 3					
Consumo de energía	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	3/6
Solución 2	0		0,5	1,5	1,5/6
Solución 3	0	0,5		1,5	1,5/6
<b>Suma</b>				6	1

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

**Tabla 9-3:** Evaluación del peso específico nivel transferencia de calor

Solución 1 > Solución 2 > Solución 3					
Nivel de transf. calor	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	3/6
Solución 2	0		0,5	1,5	1,5/6
Solución 3	0	0,5		1,5	1,5/6
<b>Suma</b>				6	1

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

**Tabla 10-3:** Evaluación del peso específico velocidad de aire

Solución 1 > Solución 2 > Solución 3					
Velocidad de aire	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	3/6
Solución 2	0		1	2	2/6
Solución 3	0	0		1	1/6
<b>Suma</b>				6	1

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

**Tabla 11-3:** Evaluación del peso específico nivel de automatización

Solución 1 > Solución 2 > Solución 3					
Nivel de automatización	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	3/6
Solución 2	0		1	2	2/6
Solución 3	0	0		1	1/6
<b>Suma</b>				6	1

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

**Tabla 12-3:** Tabla de conclusiones

Conclusión	VP	SU	CE	NTC	VA	NA	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	1/21 *3/6	2/21 *3/6	6/21 *3/6	4/21 *3/6	5/21 *3/6	3/21 *3/6	0,5	1
Solución 2	1/21 *1/6	2/21 *1,5/6	6/21 *1,5/6	4/21 *1,5/6	5/21 *2/6	3/21 *2/6	0,28	2
Solución 3	1/21 *2/6	2/21 *1,5/6	6/21 *1,5/6	4/21 *1,5/6	5/21 *1/6	3/21 *1/6	0,22	3

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

Donde:

VP = Volumen de producción

SU = Secado uniforme

CE = Consumo de energía

NTC = Nivel de transferencia de calor

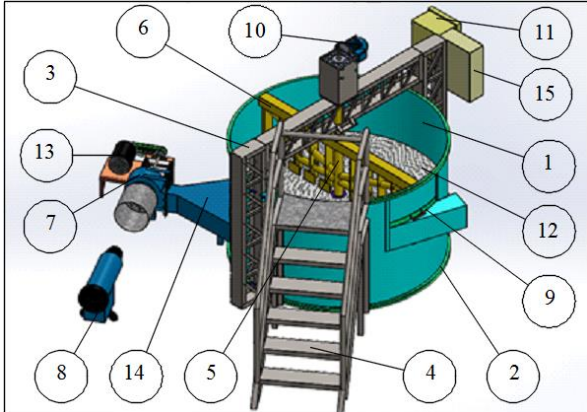
VA = Velocidad de aire

NA = Nivel de automatización

### 3.7 Características de la máquina secadora automática para cacao seleccionada

Después de los resultados obtenidos la alternativa seleccionada va a realizar el proceso de secado cumpliendo las necesidades del usuario. En la posterior tabla se detalla de los elementos que compone la máquina.

**Tabla 13-3:** Pre diseño de la alternativa seleccionada

ESQUEMA DE LA MÁQUINA	COMPONENTES
 <p>El diagrama muestra una máquina secadora automática para cacao con 15 componentes numerados. El componente 1 es el contenedor principal, que es un cilindro horizontal. El componente 2 es la estructura de soporte base. El componente 3 es la estructura pórtico que rodea el contenedor. El componente 4 es la estructura escalera que permite acceder al interior del contenedor. El componente 5 es el eje central. El componente 6 es el sistema removedor que gira dentro del contenedor. El componente 7 es un ventilador. El componente 8 es el quemador. El componente 9 es la compuerta de vaciado. El componente 10 es el motorreductor que impulsa el sistema removedor. El componente 11 es el variador de frecuencia. El componente 12 es el tamiz. El componente 13 es el motor para ventilador. El componente 14 es la entrada de aire. El componente 15 es el tablero de control.</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Contenedor</li><li>2. Estructura de soporte base</li><li>3. Estructura pórtico</li><li>4. Estructura escalera</li><li>5. Eje</li><li>6. Sistema removedor</li><li>7. Ventilador</li><li>8. Quemador</li><li>9. Compuerta de vaciado</li><li>10. Motorreductor</li><li>11. Variador de frecuencia</li><li>12. Tamiz</li><li>13. Motor para ventilador</li><li>14. Entrada de aire</li><li>15. Tablero de control</li></ol>

Realizado por: Autores

El presente diseño preliminar toma en cuenta la facilidad de intercambio de elementos y mantenimiento.

### **3.8 Elementos de la máquina secadora automática para cacao**

- *Contenedor.* Se diseña de acuerdo a las condiciones del usuario en este caso para una capacidad de 500 Kg.
- *Estructura de soporte base.* Debe estar diseñada para que soporte el peso en su interior del contenedor.
- *Estructura pórtico.* Selección correcta de los perfiles para resistir el análisis de pandeo al aplicar la carga respectiva.
- *Estructura escalera.* Este diseño da la facilidad de alimentación del producto en el contenedor, deben seleccionarse los perfiles adecuados para evitar el pandeo.
- *Eje.* Da la transmisión al sistema removedor para realizar el proceso de remoción.
- *Sistema removedor.* Debe resistir el análisis de resistencia al ser aplicado la carga en los removedores.
- *Ventilador.* El cual generará una circulación de aire por el conducto para lograr el secado del producto.
- *Quemador.* Dependiendo del tipo de combustible genera el calor que se requiere para realizar el secado.
- *Compuerta de vaciado.* Debe tener un diseño adecuado para mayor facilidad de vaciado del cacao.
- *Motorreductor.* El motorreductor que se requiere es trifásico con un tipo de alimentación de voltaje de 220 – 230V.
- *Variador de frecuencia.* Permite regular la velocidad de los removedores.
- *Tamiz.* Sirve de base para el almacenamiento de cacao y expulsión de desechos del cacao.
- *Motor para ventilador.* El motor que requiere este sistema es monofásico para una fuente de voltaje 110 – 220 V.
- *Entrada de aire.* Para el ingreso de aire es de forma radial, el calor debe distribuirse uniforme dentro de la cámara de secado.



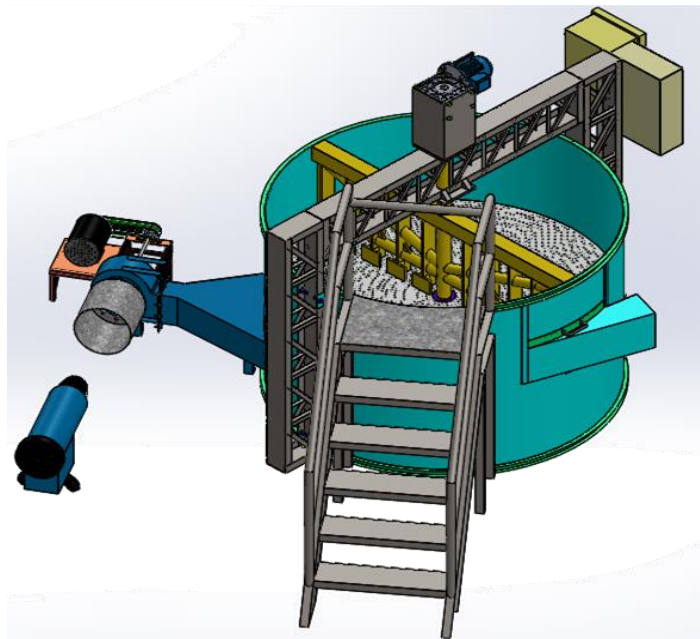
- *Tablero de control.* Donde se controla el proceso de secado de forma automática por medio de un PLC.

## CAPÍTULO IV

### 4. DISEÑO DE LA MÁQUINA SECADORA AUTOMÁTICA PARA CACAO SELECCIONADA

#### 4.1 Diseño mecánico de la máquina

Una vez establecido el diseño de la máquina secadora automática para cacao se proceden a dimensionar y seleccionar los elementos tanto mecánicos como la parte de energía.



**Figura 1-4:** Diseño final de la máquina secadora automática para cacao

Realizado por: Autores

**4.1.1 Diseño del cilindro.** Para el diseño de la máquina se diseñará primero el contenedor, para el cual se tiene los siguientes datos:

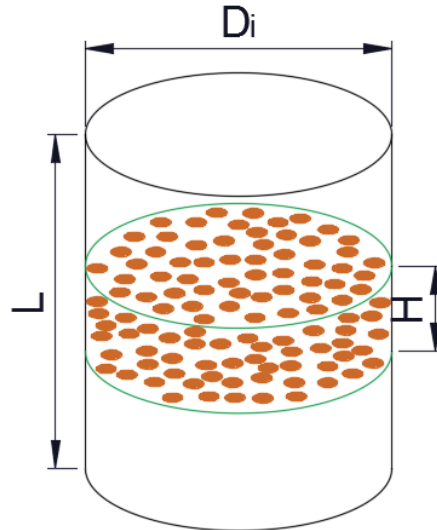
$$m = 500\text{kg}$$

$$\rho_{\text{cacao}} = 775 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (Tabla 4)}$$

Solución:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (15)$$

$$V = \frac{500kg}{775\frac{kg}{m^3}} = 0,65m^3$$



**Figura 2-4:** Diseño del contenedor

Realizado por: Autores

$$V = A * H \quad (16)$$

$$A = \pi r^2$$

$R = 1m$  asumido

$$V = \pi r^2 * H$$

$$H = \frac{V}{\pi r^2}$$

$$H = \frac{0,65}{\pi 1^2} = 0,21m$$

La altura de llenado de cacao recomendable entre (200 – 400) mm para un secado adecuado en el cacao.

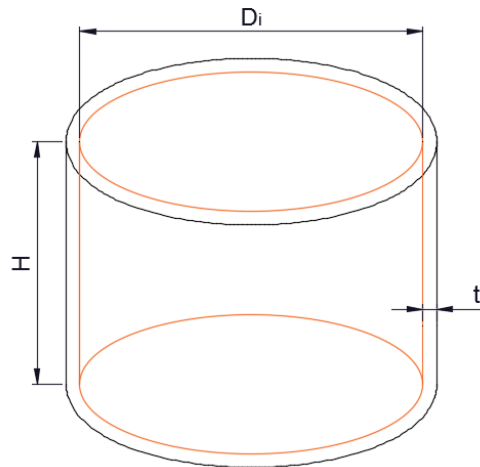
Las dimensiones del contenedor son:

$$H = 0,21 m$$

$$L = 1,22 m$$

$$Di = 2m$$

**4.1.2 Diseño del espesor de plancha.** Para su diseño se determina mediante recipientes a presión interna según la norma. (ASME, 2013)



**Figura 3-4:** Espesor de plancha para el contenedor

Realizado por: Autores

Datos:

$$D_i = 2m = 78,74 \text{ in}$$

$$\text{Temperatura de diseño} = 60^\circ C = 140^\circ F$$

$$h = 0,62m = 24,41 \text{ in}$$

$$\gamma = 0.775$$

$$\rho_{cacao} = 775 \frac{kg}{m^3} = 0,028 \frac{lb}{in^3}$$

Para el diseño se toma una masa de  $750 \text{ Kg} = 1653,75 \text{ lb}$

$$a = 9,8 \frac{m}{s^2} = 385,83 \frac{in}{s^2}$$

Material acero inoxidable AISI 304:

$S = 45\text{Ksi}$  Esfuerzo admisible

Solución:

Se determina la presión de diseño:

$$P = \frac{F}{A} \quad (17)$$

$$P = \frac{ma}{\frac{\pi Di^2}{4}} = \frac{1653,75 \cdot 385,83}{\frac{\pi(78,74)^2}{4}}$$

$$P = 131,03 \text{ Psi}$$

Mediante la ecuación de hidrostática se determina la presión interior

$$P_i = P + \gamma * \rho * h + P_{at} \quad (18)$$

$$P_{at} = 13,45 \text{ Psi (Santo Domingo)}$$

$$P_i = 131,03 + 0,775(0,028)(24,41) + 13,45$$

$$P_i = 145 \text{ Psi}$$

Para determinar el espesor se lo realiza mediante esfuerzo circunferencial y esfuerzo longitudinal.

Esfuerzo circunferencial:

**Tabla 1-4:** Valor de la eficiencia

CATEGORÍA	TIPO	EFICIENCIA	FULL
A	1	1	1

Fuente: (ASME, 2013)

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6 P} \quad (19)$$

Donde:

$t$  = espesor mínimo requerido

$P$  = Presión interna

$R$  = Radio interior

$S$  = Esfuerzo admisible

$E$  = Eficiencia de la junta

$$t = \frac{145(39,37)}{45000(1)-0,6(145)}$$

$$t = 0,13 \text{ in} = 3,3 \text{ mm}$$

$t = 3 \text{ mm}$  espesor requerido para el diseño del contenedor

$$\sigma = \frac{PD}{2t}$$

$$t = \frac{145(78,74)}{45000(2)}$$

$$t = 0,127 \text{ in} = 3,23 \text{ mm}$$

Esfuerzo longitudinal:

**Tabla 2-4:** Valor de eficiencia con categoría B

CATEGORÍA	TIPO	EFICIENCIA	FULL
B	1	1	1

Fuente: (ASME, 2013)

$$t = \frac{PR}{2SE-0,4P}$$

$$t = \frac{145(39,37)}{2(45000)(1)-0,4(145)}$$

$$t = 0,063 \text{ in} = 1,6 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{PD}{4t}$$

$$t = \frac{145(78,74)}{45000(4)}$$

$$t = 0,064 \text{ in} = 1,63 \text{ mm}$$

El espesor se da por esfuerzo circunferencial de 3 in mediante los resultados obtenidos para mayor seguridad, el material a emplearse un acero inoxidable AISI 304.

**4.1.3 Análisis de la estructura base.** Para el análisis de la estructura se comprueba mediante el software SAP 2000, aplicando la respectiva carga con los perfiles adecuados para verificación de pandeo en la estructura.

Tipo de secciones para el análisis:

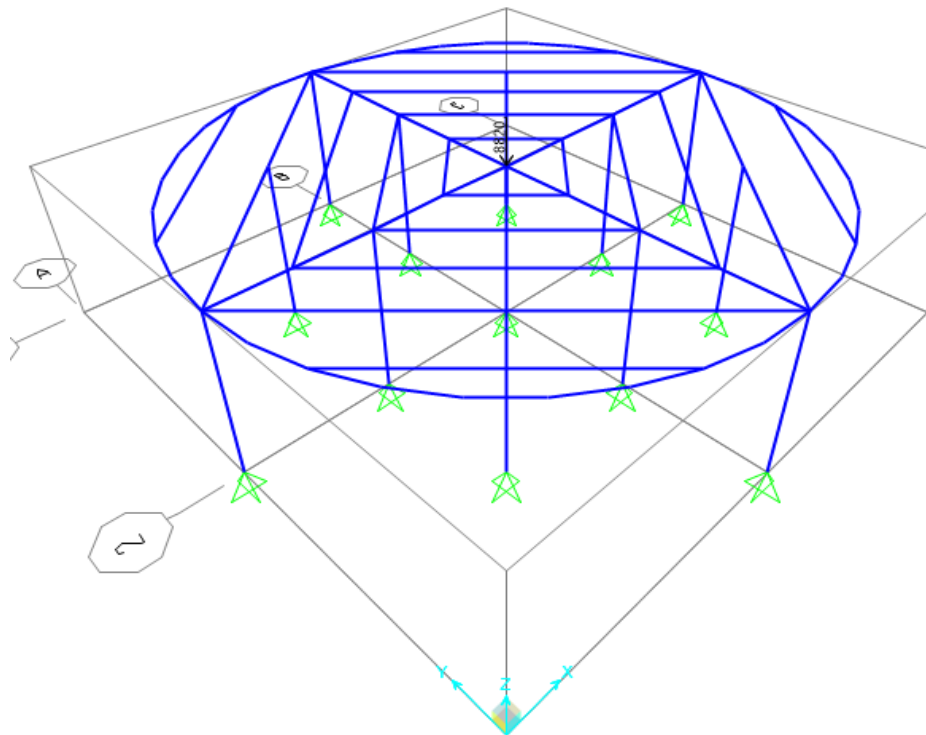
**Tabla 3-4:** Tipo de secciones para la estructura base

Descripción	Material
TC 50X50X2	Acero estructural A500
L 30X30X3	Acero estructural A36

Realizado por: Autores

Aplicación de la carga viva:

Se aplica las cargas existentes en la estructura en este caso se agrega una carga viva incluida el peso del cacao, también el peso de las personas que va a soportar la estructura dando 8820 N, y se considera el propio peso de la estructura.



**Figura 4-1:** Carga viva aplicada en la estructura

Realizado por: Autores

Definición de cargas para su análisis:

Se añade la combinación de cargas para calcular la carga de diseño mayorada para lo cual se emplea la siguiente expresión:

$$P_u = 1,2 D + 1,6L$$

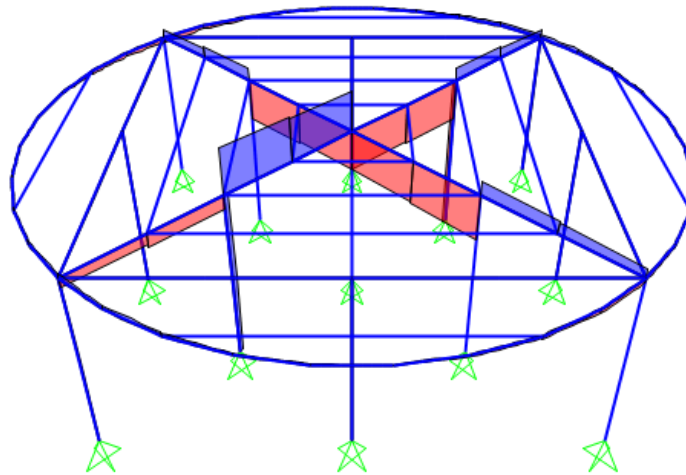
Donde:

$P_u$  = Carga de diseño mayorada [N]

$D$  = Carga muerta [N]

$L$  = Carga viva [N]

Diagrama de cortante:

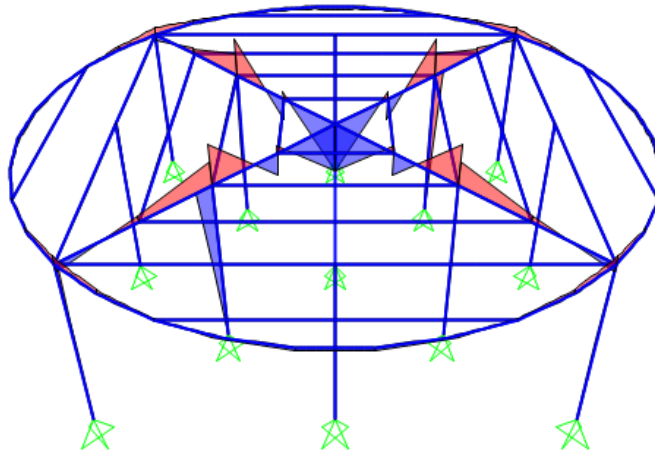


**Figura 5-4:** Diagrama de cortante de la estructura base

Realizado por: Autores

Diagrama de momentos:

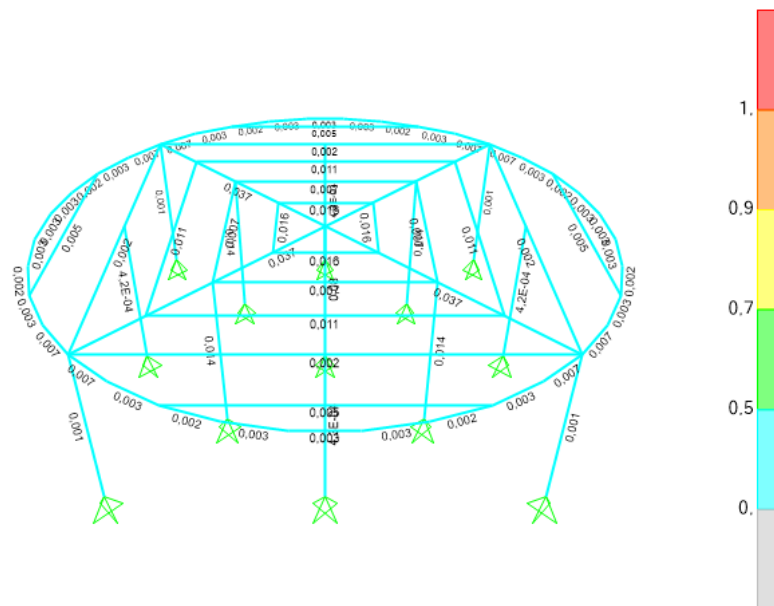




**Figura 6-4:** Diagrama de momentos de la estructura base

Realizado por: Autores

Resultados de resistencia según LRFD:



**Figura 7-4:** Análisis de la resistencia

Realizado por: Autores

De los resultados obtenidos se observa que resiste con los perfiles seleccionados, la

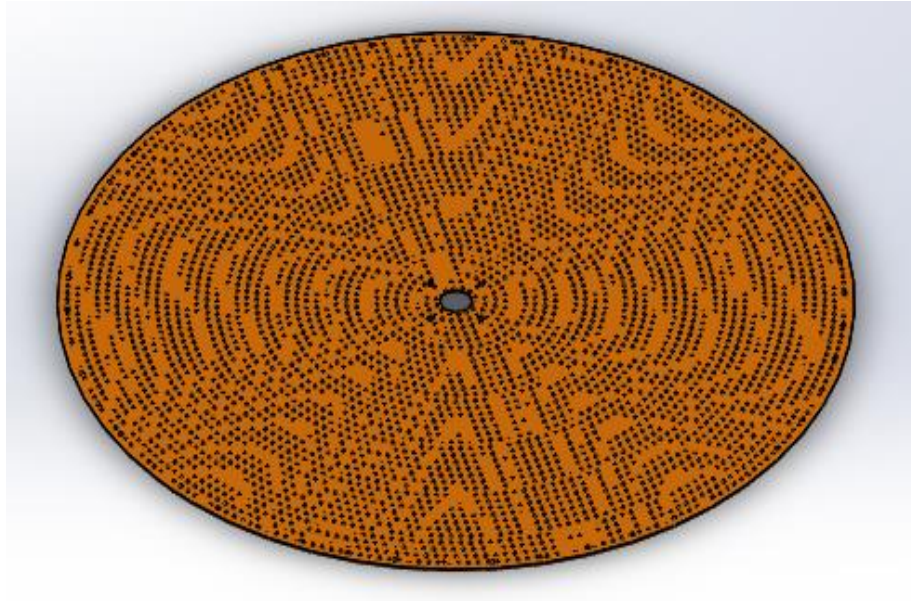
$$\frac{D}{C} = 0,037 < 1 \text{ lo cual es aceptable.}$$

Donde:

$D$  = Demanda

$C$  = Capacidad

**4.1.4 Diseño del tamiz.** Para el diseño de tamiz se realiza mediante el software SOLIDWORKS el cual se ha considerado un espesor de plancha de 2mm.



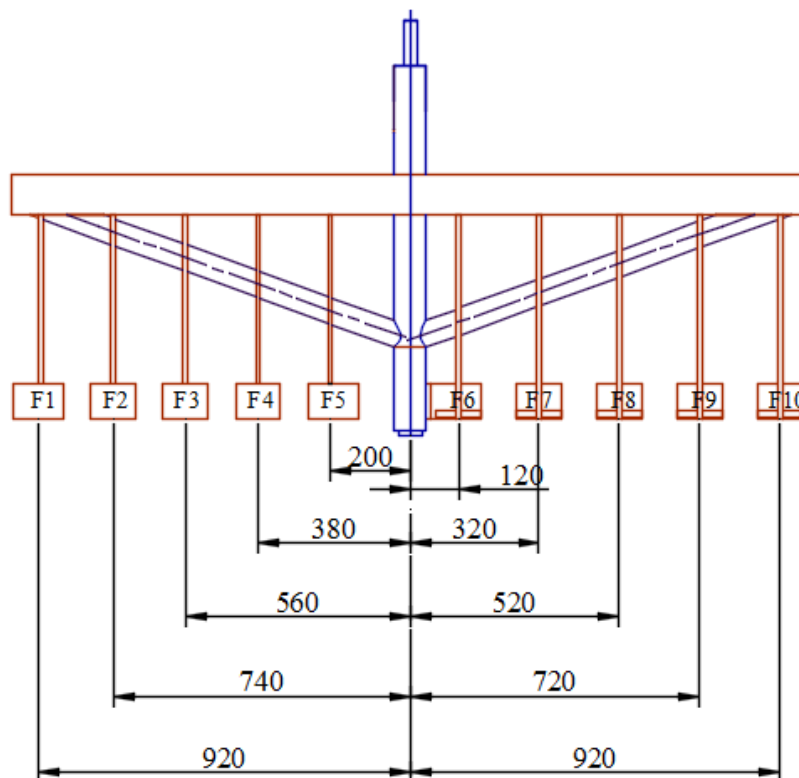
**Figura 8-4:** Diseño del tamiz

Realizado por: Autores

La carga que va a soportar el tamiz es de 8820 N, al aplicar esta carga el tamiz no va sufrir mayor deformación ya que va resistir la estructura del soporte base, se ha considerado un espesor de 2 mm, lo más importante del tamiz es el diámetro de los agujeros ya que de este depende la transferencia de calor que va transmitir al grano y se seque más rápido, 8mm es un diámetro aceptable para este tipo de proceso, por ser un producto alimenticio el material a emplearse es acero inoxidable AISI 304.

**4.1.5 Fuerza aplicada en los removedores.** Para calcular la fuerza se hace una relación como en el caso de selección de pernos a tracción primaria igualando las fuerzas con sus respectivas distancias. (BUDYNAS, et al., 2008)

En la siguiente figura se observa como están aplicadas las fuerzas a las distancias que se ha considerado recomendable para ser removidos todo el grano con las paletas respecto al eje.



**Figura 9-4:** Fuerza aplicada en los removedores

Realizado por: Autores

Para lo cual se tiene:

$$\frac{F_1}{920} = \frac{F_2}{740} = \frac{F_3}{560} = \frac{F_4}{380} = \frac{F_5}{200} \quad (20)$$

La carga máxima aplicada es de 7350 N, para lo cual se ha considerado la mitad de su carga aplicada en los removedores respecto a la simetría del eje.

Se ha realizado un proceso iterativo mediante el Excel, hasta tener un aproximado a la carga deseada, el cual se asume un valor de carga a una de las fuerzas en este caso es a F2.

**Tabla 4-1:** Valor de las fuerzas mediante iteración

<b>F2</b>	<b>F1</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>Suma</b>
200	248,648649	151,351351	102,702703	54,0540541	756,756757
300	372,972973	227,027027	154,054054	81,0810811	1135,13514
400	497,297297	302,702703	205,405405	108,108108	1513,51351
500	621,621622	378,378378	256,756757	135,135135	1891,89189
600	745,945946	454,054054	308,108108	162,162162	2270,27027
700	870,27027	529,72973	359,459459	189,189189	2648,64865
800	994,594595	605,405405	410,810811	216,216216	3027,02703
900	1118,91892	681,081081	462,162162	243,243243	3405,40541
920	1143,78378	696,216216	472,432432	248,648649	3481,08108
930	1156,21622	703,783784	477,567568	251,351351	3518,91892
940	1168,64865	711,351351	482,702703	254,054054	3556,75676
950	1181,08108	718,918919	487,837838	256,756757	3594,59459
960	1193,51351	726,486486	492,972973	259,459459	3632,43243
970	1205,94595	734,054054	498,108108	262,162162	3670,27027
<b>971,25</b>	<b>1207,5</b>	<b>735</b>	<b>498,75</b>	<b>262,5</b>	<b>3675</b>

Realizado por: Autores

Donde:

$$F_1 = 1207,5 \text{ N}$$

$$F_2 = 971,25 \text{ N}$$

$$F_3 = 735 \text{ N}$$

$$F_4 = 498,75 \text{ N}$$

$$F_5 = 262,5 \text{ N}$$

Con las fuerzas encontradas se aplica de igual forma al lado de la simetría respecto al eje para tener uniformidad en el proceso de remoción del grano.

Lo que daría igualdad de fuerzas como es:

$$F_1 = F_{10}$$

$$F_2 = F_9$$

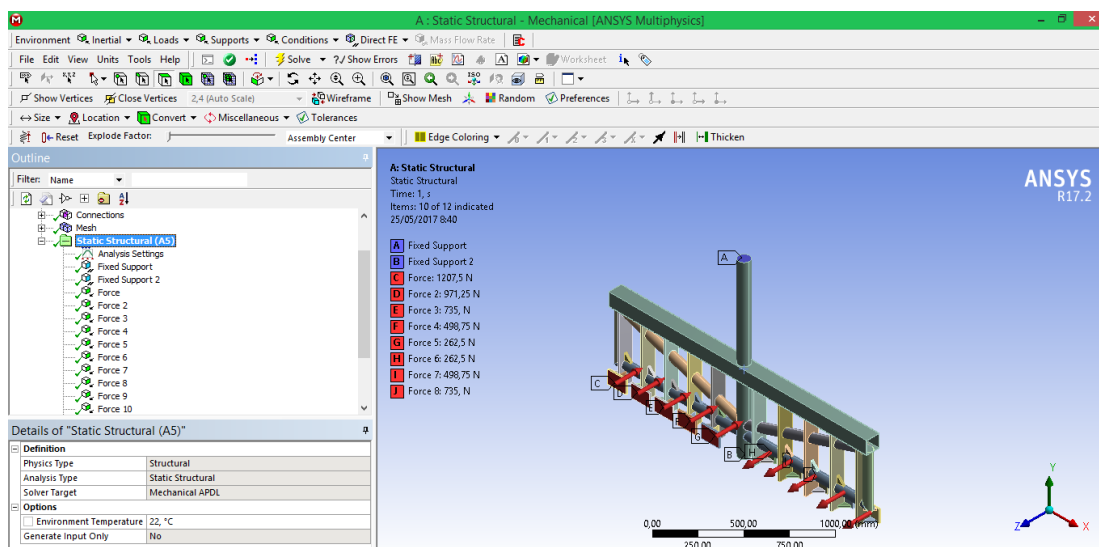
$$F_3 = F_8$$

$$F_4 = F_7$$

$$F_5 = F_6$$

**4.1.6 Análisis del sistema removedor.** Para todo el sistema se selecciona un acero inoxidable AISI 304, una vez determinado las fuerzas que van ser aplicados en los removedores, se hace un análisis mediante el software ANSYS módulo (Static Structural) para lograr un diseño adecuado y resistencia del material.

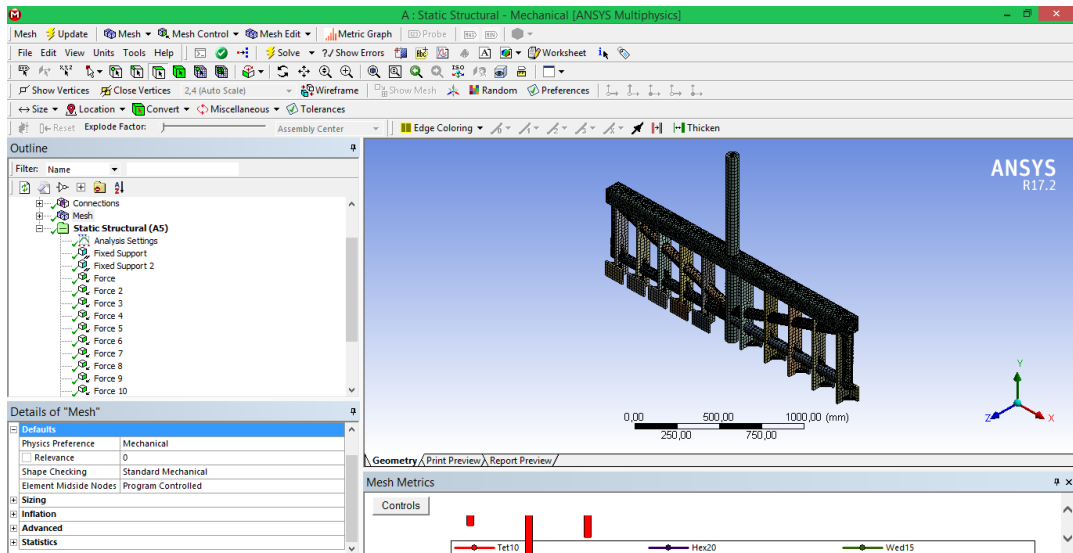
Fuerzas aplicadas en los removedores:



**Figura 10-4:** Aplicación de fuerzas y soportes fijos en los removedores

Realizado por: Autores

Mallado del sistema removedor:



**Figura 11-4: Tipo de mallado**

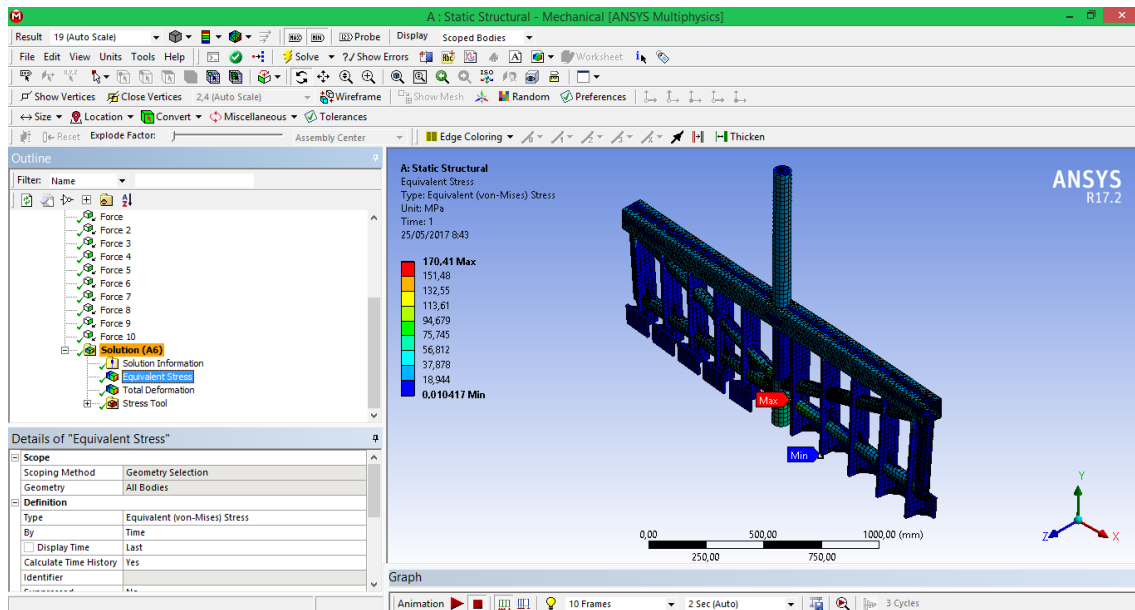
Realizado por: Autores

Se dio diferente tipo de mallado a cada elemento para obtener mejores resultados.

Resultados del análisis:

Para determinar el análisis de resistencia se agrega el equivalente de Von – Mises, deformación total y el factor de seguridad.

Resultados Von – Mises:



**Figura 12-4:** Resultados Von - Mises

Realizado por: Autores

Del análisis se obtiene un valor de  $\sigma_{eq} = 170,41$  MPa como se observa, el sistema removedor resiste a la carga aplicada los colores detallan mucho, el azul es cuanto resiste y los otros colores es donde va fallar, es muy importante que el diseño este bien realizado en este caso el dibujo con sus acoples adecuados ya que un mal diseño ocasiona resultados erróneos.

Deformación total en el sistema removedor:

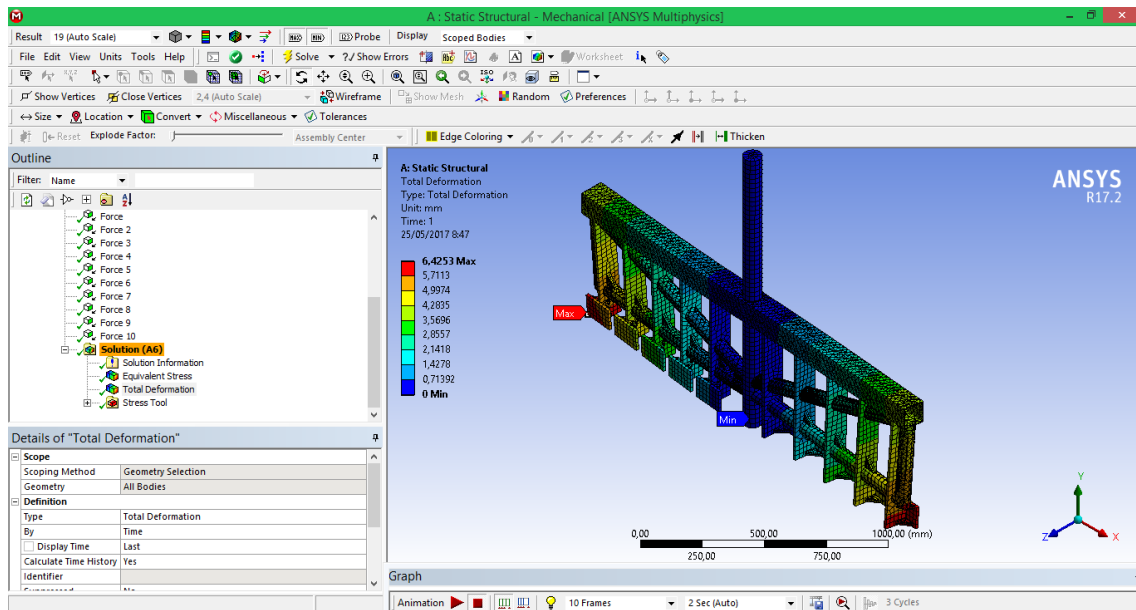


Figura 13-4: Deformación total

Realizado por: Autores

Se observa que la deformación es de  $\delta = 6,4253$  mm, tienden a deformarse más los extremos de los removedores debido a que se le aplica mayor fuerza.

Factor de seguridad:

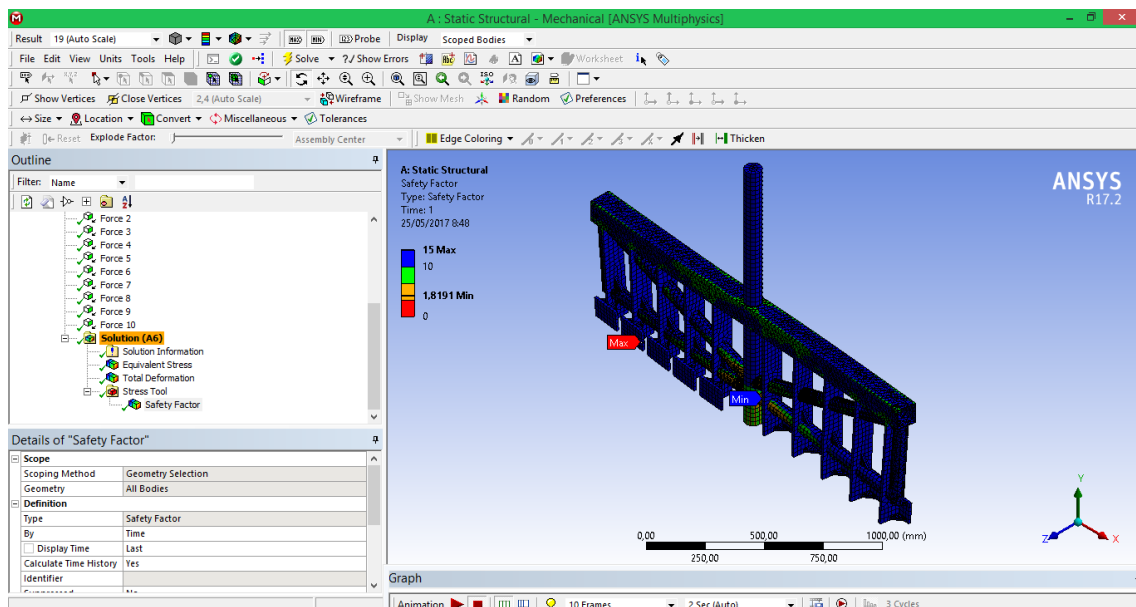


Figura 14-4: Factor de seguridad

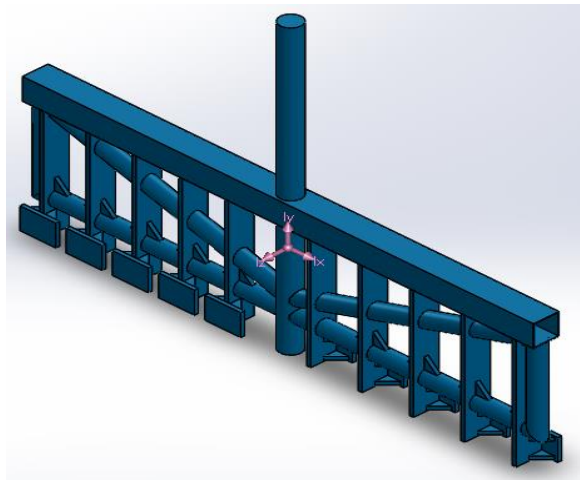
Realizado por: Autores



Se obtiene un factor de seguridad de  $\eta = 1,8191$  lo cual es aceptable para el diseño.

**4.1.7 Selección del motorreductor.** Se determina la potencia, para lo cual se considera la fuerza aplicada en los removedores, además de los momentos de inercia de cada uno de los elementos que están en rotación acoplados al sistema.

**4.1.7.1 Momento de inercia del sistema removedor con respecto al eje y.** Debido a la geometría compleja que representa el sistema, se utiliza el software SolidWorks que permite determinar lo requerido.



**Figura 15-4:** Sistema removedor

Realizado por: Autores

Para realizar el posterior cálculo las propiedades del material es un acero inoxidable AISI 304.

El momento de inercia con respecto al eje (Y) del sistema removedor mediante SolidWorks es:

$$I_{sr} = 39,32 \text{ kgm}^2$$

Mediante la siguiente ecuación se determina el momento del sistema removedor:

$$\Sigma M = \Sigma I * \alpha \quad (21)$$

Donde:

$I$  = Momento de inercia [ $\text{kgm}^2$ ]

$\alpha$  = Aceleración angular [ $\frac{rad}{s^2}$ ]

Para determinar la aceleración angular se debe considerar los tiempos de estabilización del motor, para lo cual se recomienda que el tiempo sea mayor a 10 segundos y la velocidad este entre (1 – 3,5) m/s.

De los datos recomendados se tiene:

$$t = 15 \text{ seg}$$

$$v = 2 \frac{m}{s}$$

Mediante la ecuación de cinemática se tiene:

$$v = v_0 + at \quad (22)$$

$$a = \frac{v}{t}$$

$$a = \frac{2 \frac{m}{s}}{15s}$$

$$a = 0,13 \frac{m}{s^2}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{a}{r} \quad (23)$$

$$r = 1m$$

$$\alpha = \frac{0,13 \frac{m}{s^2}}{1m}$$

$$\alpha = 0,13 \frac{rad}{s^2}$$

$$M_{sr} = I_{sr} * \alpha$$

$$M_{sr} = 39,32 \text{ Kg } m^2 (0,13 \frac{rad}{s^2})$$

$$M_{sr} = 5,11 \text{ Nm}$$

**4.1.7.2 Torque aplicado en los removedores.** Con las fuerzas determinadas anteriormente se calculan los respectivos momentos.

**Tabla 5-4:** Momentos aplicados en los removedores

Designación	Fuerza (N)	Distancia (m)	Momento (Nm)
1	1207,5	0,92	1110,9
2	971,25	0,74	718,73
3	735	0,56	411,6
4	498,75	0,38	189,53
5	262,5	0,2	52,5
6	262,5	0,12	31,5
7	498,75	0,32	159,6
8	735	0,52	382,2
9	971,25	0,72	699,3
10	1207,5	0,92	1110,9
$\Sigma_M$			<b>4866,76</b>

Realizado por: Autores

El momento aplicado en los removedores es de:

$$M_{remov} = 4866,76 \text{ Nm}$$

**4.1.7.3 Momento de todo el sistema de rotación.** Se suma el momento del sistema removedor generado por los momentos de inercia y los momentos aplicados en cada uno de los removedores.

$$M_{sistema} = M_{sr} + M_{remov}$$

$$M_{sistema} = (5,11 + 4866,76) \text{ Nm}$$

$$M_{sistema} = 4871,87 \text{ Nm}$$

**4.1.7.4 Velocidad angular de trabajo.** Las máquinas secadoras de cacao trabajan con velocidades bajas, se recomienda entre (3 – 6) rpm, ya que el movimiento del grano debe ser lento para rapidez de secado, en este caso se trabajará con 3 rpm.

$$W = 3RPM = 0,314 \frac{rad}{s}$$

**4.1.7.5 Potencia de trabajo.** Para determinar la potencia de trabajo se emplea la siguiente fórmula:

$$P = M_{sistema} * W [HP] \quad (24)$$

$$P = 4871,87Nm (0,314 \frac{rad}{s})$$

$$P = 1529,77 W$$

$$P_T = 2,05 HP$$

**4.1.7.6 Selección del motorreductor.** Con la potencia encontrada anteriormente se selecciona dicho elemento.

La tabla detalla el factor de servicio, para este caso se requiere un trabajo de 8 – 10 horas y que sea uniforme, además que funcione con un motor eléctrico.

**Tabla 6-4:** Factor de servicio según el tiempo de operación

Duración del servicio Tiempo total de operación por día	Clasificación de carga Máquina movida								
	Con Motor Eléctrico			Con Motor de Combustión (un cilindro)			Con Motor de Combustión (multicilindro)		
	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado
Ocasionales ½ hr.	0,80	0,90	1,00	1,00	1,25	1,50	0,90	1,00	1,25
Intermitente 2 hrs.	0,90	1,00	1,25	1,25	1,50	1,75	1,00	1,25	1,50
Hasta 10 hrs	1,00	1,25	1,50	1,50	1,75	2,00	1,25	1,50	1,75
Hasta 24 hrs	1,25	1,50	1,75	1,75	2,00	2,25	1,50	1,75	2,00

Fuente: (CATÁLOGO RAYSA)

Donde:

$F_s = 1,25$  con choque moderado hasta 10 horas

Con este dato se determina la potencia requerida:

$$P_{REQUERIDA} = P_T * f_s$$

$$P_{REQUERIDA} = 2,05 \text{ HP (1,25)}$$

$$P_{REQUERIDA} = 2,56 \text{ HP} \approx 3\text{HP}$$

Del resultado de la potencia requerida calculada según el CATÁLOGO ROSSI se selecciona un motorreductor de 3 HP marca ABB M2QA100L4A el cual está en el rango de trabajo, en el (Anexo B), se detalla las características.

**4.1.7.7 Relación de transmisión.** Para determinar la relación de transmisión se conoce las RPM de entrada y salida del motorreductor de acuerdo a la selección.

Con la siguiente ecuación se determina la relación de transmisión:

$$i = \frac{n_e}{n_s} \quad (25)$$

Donde:

$n_e$  = Revoluciones de entrada [rpm]

$n_s$  = Revoluciones de salida [rpm]

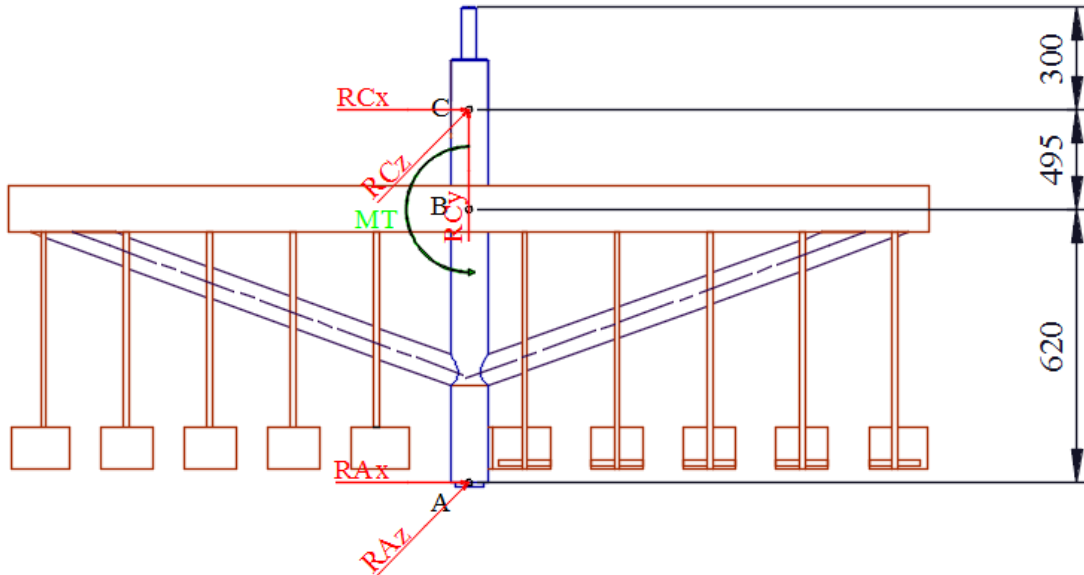
$$i = \frac{1735rpm}{35rpm}$$

$$i = 49,57 \approx 50$$

**4.1.7.8 Selección del variador de frecuencia.** Una vez determinada la potencia requerida se necesita de un variador para su proceso, ya que se necesitan 3rpm para remover el grano, el variador que se selecciona es de 5 HP, para mejor trabajo se recomienda que sea mayor a la potencia del motorreductor, este dispositivo permite reducir o aumentar la velocidad del sistema removedor a la que requiere el usuario.

Mediante el catálogo de variadores de frecuencia marca WEG se selecciona según la potencia requerida el cual es de 5 HP (Anexo C).

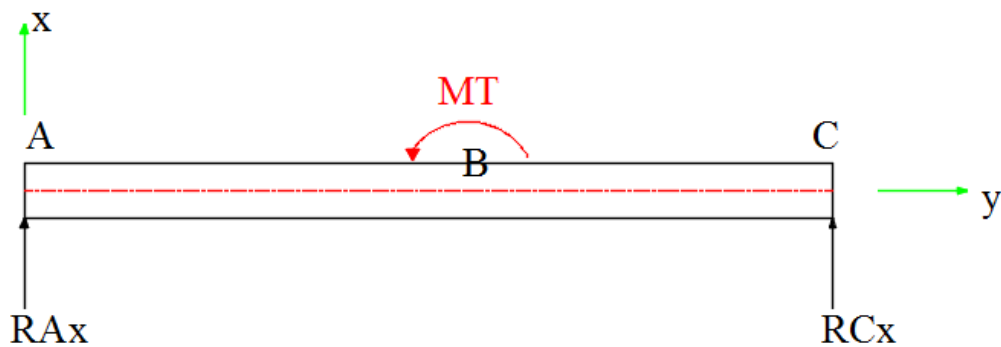
**4.1.8 Diseño del eje.** Para el diseño se considera todas las fuerzas que actúan sobre el eje como se observa en la figura, para lo cual se identificara el punto crítico donde exista mayor esfuerzo, las fórmulas a emplearse para su diseño mediante BUDYNAS.



**Figura 16-4:** Fuerzas que actúan en el eje

Realizado por: Autores

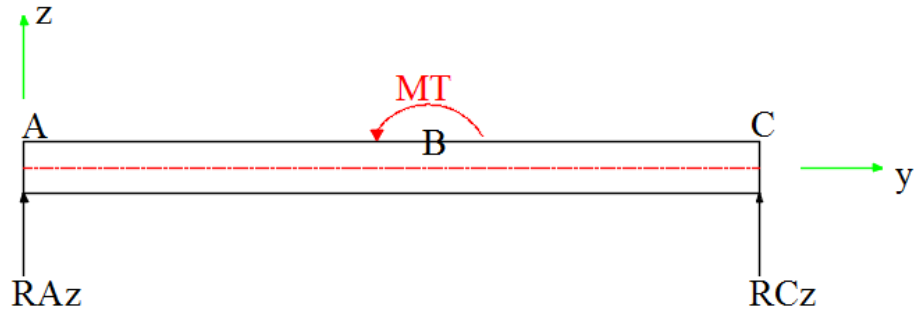
En la siguiente figura se observa las fuerzas que actúan en el plano x-y.



**Figura 17-4:** Fuerzas aplicadas en el plano x-y

Realizado por: Autores

Representación de fuerzas en el plano y-z.



**Figura 18-4:** Fuerzas aplicadas en el plano y-z

Realizado por: Autores

**4.1.8.1** *Cálculo de reacciones en el punto A y C.* Aplicando la sumatoria de momentos en el punto A, en el plano x-y.

Para determinar el momento torsor se calcula con la potencia requerida, donde se conoce la potencia de 3HP y la velocidad angular de 3rpm.

Donde:

$$P_R = M_T * W$$

Despejando se tiene:

$$M_T = \frac{P_R}{W} \quad (26)$$

$$M_T = \frac{2238W}{0,314 \frac{rad}{s}}$$

$$M_T = 7127,39 Nm$$

Aplicando la sumatoria de momentos en el punto A se tiene:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-7127,39 Nm - RC_x(1,115m) = 0 \quad (27)$$

$$RC_x = \frac{7127,39Nm}{1,115m}$$

$$RC_x = - 6392,28 N \downarrow$$

Mediante la sumatoria de fuerzas en el eje x se tiene:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$RA_x - RC_x = 0 \quad (28)$$

$$RA_x = 6392,28 \text{ N}$$

Aplicando la sumatoria de momentos en el mismo punto A pero en el plano y-z se calcula las otras reacciones.

Por actuar el mismo momento torsor se generan las mismas reacciones encontradas anteriormente.

$$RC_z = - 6392,28 \text{ N} \downarrow$$

$$RA_z = 6392,28 \text{ N}$$

En el sistema existe una carga axial el cual actúa en la parte superior donde está la chumacera debido a que solo existe una reacción en el eje Y, esta va a ser cero.

Al realizar una sumatoria de fuerzas en el eje Y de todo el sistema se obtiene:

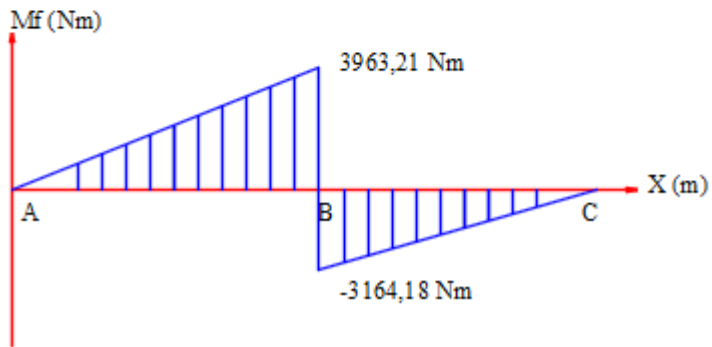
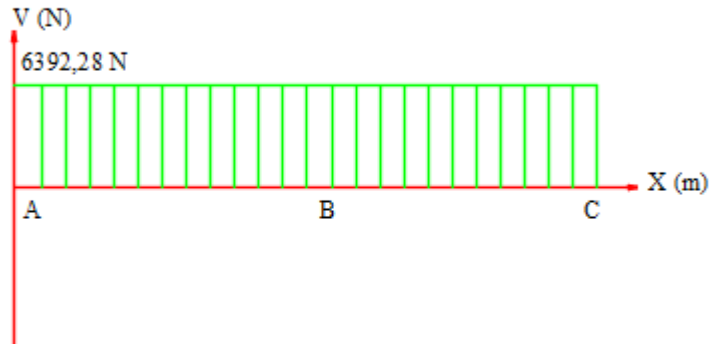
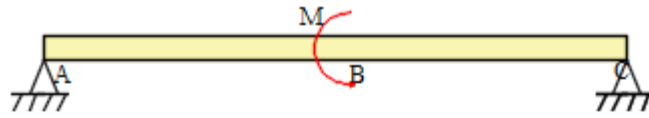
$$\Sigma F_y = 0$$

$$RC_y = 0$$

**4.1.8.2** *Diagrama de cortante y de momentos.* Con los datos de reacciones encontrados se realiza el diagrama de cortante y de momentos, para lo cual se hace el uso del software AutoCAD.

En la siguiente figura se indica el diagrama de cortante y de momento en el plano x-y.

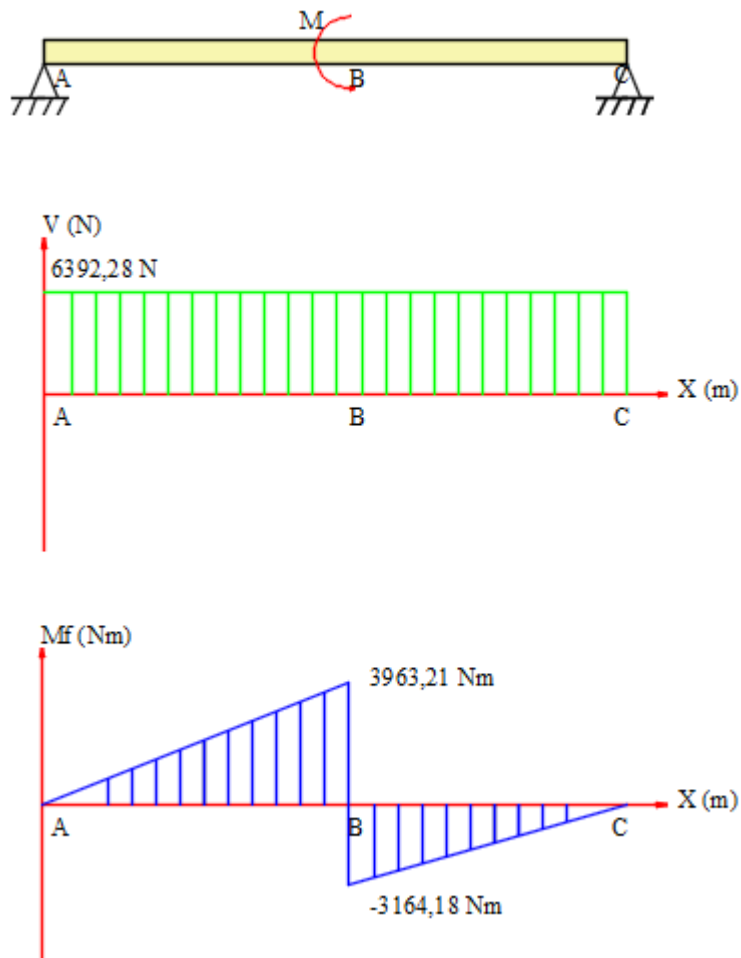




**Figura 19-4:** Diagrama de cortante y momento en el plano x-y

Realizado por: Autores

Plano y-z:



**Figura 20-4:** Diagrama de cortante y momento en el plano y-z

Realizado por: Autores

**4.1.8.3** *Momento resultante.* El análisis está en el punto B donde es el punto crítico para el diseño del eje.

$$M_{RB} = \sqrt{M_{Bxy}^2 + M_{Byz}^2} \quad (29)$$

$$M_{RB} = \sqrt{(3963,21)^2 + (3963,21)^2}$$

$$M_{RB} = 5604,83 \text{ Nm}$$

**4.1.8.4** *Diseño estático del eje.* Para el diseño se considera los siguientes datos que facilitará la determinación del diámetro.

$$M_R = 5604,83 \text{ Nm}$$

$$T = 7127,39 \text{ Nm}$$

Aplicando el esfuerzo cortante máximo según (BUDYNAS, et al., 2008).

$$\sigma_{eq} = \frac{S_y}{\eta} \quad (30)$$

Donde:

$$\sigma_{eq} = \text{Esfuerzo equivalente } \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right]$$

$$S_y = \text{Límite de fluencia del material [Pa]}$$

$$\eta = \text{Factor de seguridad}$$

Acero inoxidable AISI 304:

$$S_y = 310 \text{ MPa}$$

Para el criterio de Von - Mises se tiene:

$$\sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = \sigma_{eq} \quad (31)$$

Cálculo de esfuerzo por flexión:

$$\sigma_x = \frac{32M_{\text{máx}}}{\pi d^3} \quad (32)$$

$$\sigma_x = \frac{32(5604,83)}{\pi d^3}$$

$$\sigma_x = \frac{57090,33}{d^3}$$

Cálculo de esfuerzo por torsión:

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (33)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16(7127,39)}{\pi d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{36299,5}{d^3}$$

Estos esfuerzos se remplazan en la ecuación de Von – Mises

$$\sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = \frac{S_y}{\eta}$$

Para caso estático se considera:

$$n = 3$$

$$\sqrt{\left(\frac{57090,33}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{36299,5}{d^3}\right)^2} = \frac{310 \times 10^6}{3}$$

$$\left(\sqrt{\frac{7212266880}{d^6}}\right)^2 = (10,33 \times 10^7)^2$$

$$d = 0,09 \text{ m} = 90 \text{ mm} = 3,44 \text{ in}$$

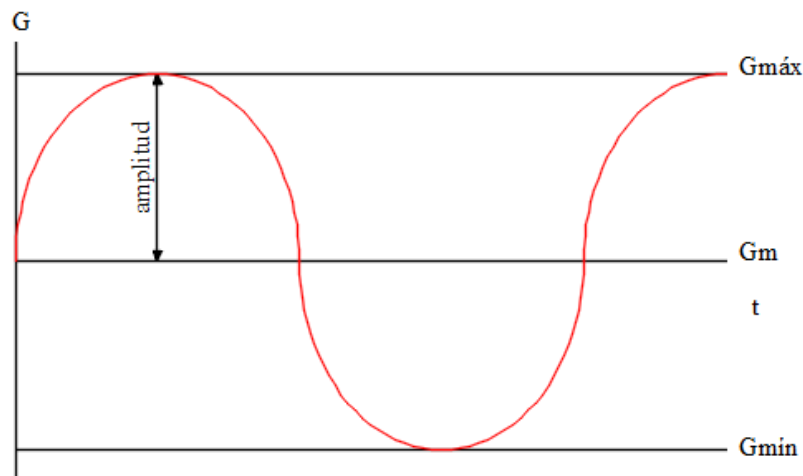
$$d = 3 \text{ in}$$

El diámetro obtenido es de 3,44 pero en el mercado se consigue de 3 in, el cual se utilizará para el diseño.

**4.1.8.5 Diseño a fatiga.** Con el diámetro obtenido de 3 in, se realiza el cálculo de factor de seguridad para comprobación de resistencia del eje.

Esfuerzos en la sección crítica B.

Esfuerzo a flexión:



**Gráfico 1-4:** Diagrama de flexión

Realizado por: Autores

De la figura:

$$\sigma_{máx} = \sigma_{mín}$$

$$\sigma_{xa} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2} = \sigma_a \quad (34)$$

$$\sigma_{xm} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}}{2} = 0 \quad (35)$$

Donde:

$$\sigma_{xa} = \frac{32M_{m\acute{a}x}}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32(5604,83Nm)}{\pi(0,0762m)^3}$$

$$\sigma_{xa} = 129,03 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo a torsión:



**Gráfico 2-4:** Diagrama de flexión

Realizado por: Autores

De la gráfica se visualiza:

$$\tau_{xya} = \frac{\tau_{m\acute{a}x} - \tau_{m\acute{i}n}}{2} = 0$$

$$\tau_{xym} = \frac{\tau_{m\acute{a}x} + \tau_{m\acute{i}n}}{2} = \tau_m$$

Donde:

$$\tau_{xym} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

$$\tau_{xym} = \frac{16(7127,39)}{\pi(0,0762)^3}$$

$$\tau_{xym} = 82,04 \text{ MPa}$$

Aplicando Von – Mises

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(Kf_f \sigma_{xm})^2 + 3 (Kf_\tau \tau_{xym})^2} \quad (36)$$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}}$$

Donde:

$$\sqrt{a} = 0,35 \text{ flexión (Anexo D)}$$

$$\sqrt{a} = 0,28 \text{ torsión (tablas D)}$$

$$\frac{D-d}{2} = \frac{(76,2-32)mm}{2} = 22,1mm$$

$$r = \frac{h}{3}$$

$$r = \frac{22,1mm}{3} = 7,37mm$$

Flexión:

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0,35}{\sqrt{7,37}}} = 0,88$$

Torsión:

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0,28}{\sqrt{7,37}}} = 0,91$$

$$\frac{r}{d} = \frac{7,37}{32} = 0,23$$

$$\frac{D}{d} = \frac{76,2}{32} = 2,39$$

Flexión:

$$Kt = 1,39 \text{ (Anexo E)}$$

Torsión:

$$Kt = 1,28 \text{ (Anexo F)}$$

Concentración de esfuerzos:

$$Kf_f = 1 + q (Kt - 1)$$

$$Kf_f = 1 + 0,35 (1,39 - 1)$$

$$Kf_f = 1,14 \text{ flexión}$$

$$Kf_{\tau} = 1 + 0,28 (1,28 - 1)$$

$$Kf_{\tau} = 1,08 \text{ torsión}$$

Esfuerzo equivalente medio:

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{3(1,08)^2(82,04)^2}$$

$$\sigma_{eqm} = 153,47 \text{ MPa}$$

Esfuerzo equivalente amplitud:

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(Kf_f \sigma_{xa})^2 + 3 (Kf_{\tau} \tau_{xya})^2} \quad (37)$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(1,14)^2(129,03)^2}$$

$$\sigma_{eqa} = 147,09 \text{ MPa}$$

Diseño por resistencia a fatiga:

Material AISI 304:

$$S_y = 310 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 620 \text{ MPa}$$

$$S_e = K S_e' \quad (38)$$

Donde:

$S_e$  = Límite de resistencia a la fatiga [Pa]

$$S_e' = 0,5 S_{ut} \text{ por flexión} \quad (39)$$

$$S_e' = 0,5(620) \text{ MPa}$$

$$S_e' = 310 \text{ Mpa}$$

$$K = K_a K_b K_c K_d K_g \quad (40)$$

Donde:

$K$  = Concentración global

$Ka$  = Factor de superficie (Anexo G)

$$Ka = aSut^b \quad (41)$$

Donde:

$a = 4,51$ MPa Maquinado

$b = -0,265$  Maquinado

$$Ka = 4,51(620)^{-0,265}$$

$$Ka = 0,82$$

$Kb$  = Factor de tamaño (Anexo H)

$$Kb = 1,51d^{-0,157} \quad (42)$$

$$Kb = 1,51(76,2)^{-0,157}$$

$$Kb = 0,76$$

$Kc$  = Factor de confiabilidad (Anexo I)

Confiabilidad = 99 %

$$Kc = 0,814$$

$Kd$  = Factor de temperatura

$$Kd = 1 \text{ T. ambiente}$$

$Kg$  = Factor de esfuerzos varios

$$Kg = 1$$

$$K = (0,82)(0,76)(0,814)(1)(1)$$

$$K = 0,51$$

$$Se = 0,51(310)$$



$$Se = 158,1 \text{ MPa}$$

Aplicando el criterio de Soderberg:

$$\frac{\sigma_{eqa}}{Se} + \frac{\sigma_{eqm}}{Sy} = \frac{1}{\eta} \quad (43)$$

$$\frac{147,09}{158,1} + \frac{153,47}{310} = \frac{1}{\eta}$$

$\eta = 1$  es aceptable resiste el eje, se recomienda  $\eta \geq 1$

**4.1.9 Selección de chumaceras.** Una vez determinado el diámetro del eje se selecciona la chumacera, para su análisis se selecciona el rodamiento rígido de bolas, en la selección las fórmulas a emplearse se rigen bajo el CATALOGO NTN.

Se selecciona una chumacera de pared UCF215-300D1  $\phi = 3$  in (Anexo J).

Para el análisis se tiene (Anexo K):

$Cr = 12,7$  KN Carga dinámica

$Cor = 13,3$  KN Carga estática

**4.1.9.1 Análisis a carga estática.** Para su análisis se emplea la siguiente ecuación.

$$C_{or} = f_s P_o \quad (44)$$

Donde:

$C_{or}$  = Capacidad estática radial [KN]

$f_s$  = Factor de seguridad

$P_o$  = Carga estática equivalente máxima [KN]

Donde:

$f_s = 0,5$  (Anexo L)

$$P_o = Fr$$

$$Fr = \sqrt{R_{Axy}^2 + R_{Ayz}^2} \quad (45)$$

$$Fr = \sqrt{(4261,52)^2 + (4261,52)^2}$$

$$Fr = 6026,69 \text{ N}$$

$$Fr = 6,03 \text{ KN}$$

$$C_{or} = 0,5 (6,03)$$

$$C'_{or} = 3,02 \text{ KN}$$

$$C'_{or} < C_{or}$$

3,02 < 13,3 Los elementos rodantes resisten

**4.1.9.2** *Análisis a carga dinámica.* Para el rodamiento rígido de bolas se emplea la siguiente ecuación.

$$C' = \frac{F_h * P_r}{F_n} \quad (46)$$

Donde:

$C'$  = Capacidad requerida dinámica [KN]

$F_h$  = Factor de vida

$P_r$  = Carga radial dinámica equivalente [KN]

$F_n$  = Factor de velocidad

Factor de confiabilidad:

Se toma un factor de confiabilidad 90 %  $L_{10}$  (Anexo M).

Duración de vida:

$L_{10} = 20000$  h Para maquinaria utilizada 8 horas al día (Anexo N).

Para determinar el factor de velocidad se emplea la siguiente ecuación como se observa en el Anexo O.

Donde:

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n}\right)^{1/3} \quad (47)$$

$n = 3$  rpm Velocidad rotación

$$f_n = \left(\frac{33,3}{3}\right)^{1/3}$$

$$f_n = 2,23$$

Factor de vida del rodamiento:

$$f_h = 3,4 \text{ (Anexo P).}$$

Carga radial dinámica equivalente:

$$P_r = x f_r + y f_a \quad (48)$$

Donde:

$f_r$  = Carga radial [KN]

$f_a$  = Carga axial [KN]

“ $x$  = Coeficiente radial del rodamiento.” (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

“ $y$  = Coeficiente axial del rodamiento.” (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

$$\frac{f_a}{f_r} \leq e$$

$F_a = 0$  Al estar bajo carga radial  $R_{Ay} = 0$

$$\frac{0}{f_r} = 0 < e$$

El coeficiente axial y radial del rodamiento se observa en el Anexo Q.

Donde:

$$x = 1$$

$$y = 0$$

$$P_r = 1(6,03)KN$$

$$P_r = 6,03 KN$$

$$C' = \frac{3,4(6,03 \text{ KN})}{2,23}$$

$$C' = 9,19 \text{ KN}$$

$$C' < Cr$$

$$9,19 < 12,7 \text{ Resiste el rodamiento}$$

**4.1.10 Análisis de la estructura pórtica.** Mediante el software SAP 2000 se comprueba la resistencia de la estructura con el perfil seleccionado.

Tipo de secciones:

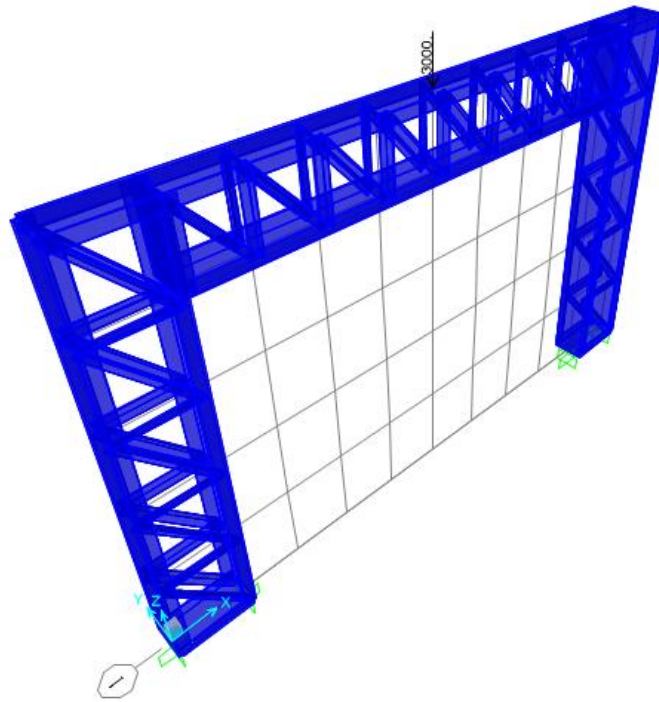
**Tabla 7-4:** Tipo de secciones del pórtico

Descripción	Material
C 150X50X3	Acero estructural A36
L 30X30X3	Acero estructural A36

Realizado por: Autores

Carga viva en la estructura:

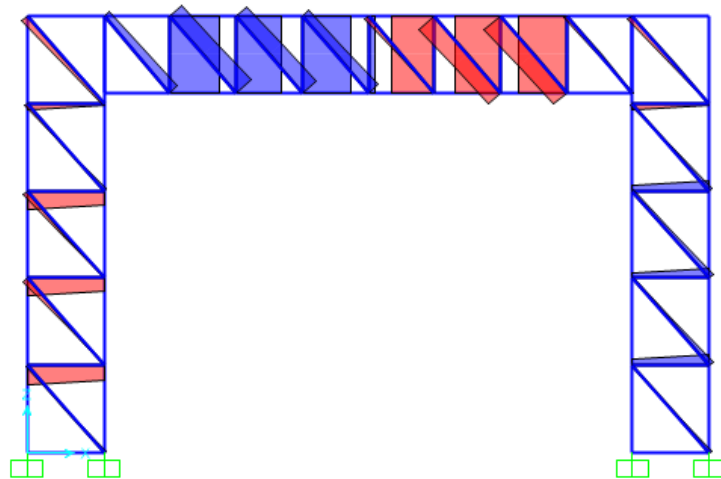
Aplicación de cargas necesarias en la estructura para lo cual se considera la carga viva en la que interviene el peso del sistema removedor y el motorreductor que es de 3000N y se toma en cuenta el peso propio de la estructura.



**Figura 21-4:** Aplicación de carga en la estructura

Realizado por: Autores

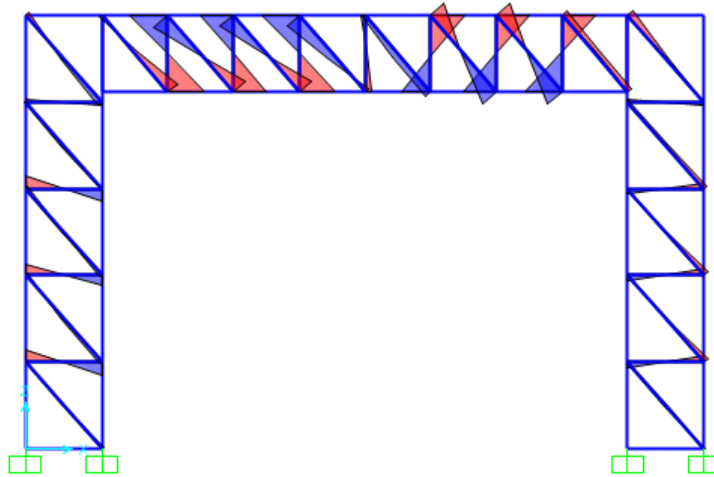
Diagrama de cortante:



**Figura 22-4:** Diagrama de cortante del pórtico

Realizado por: Autores

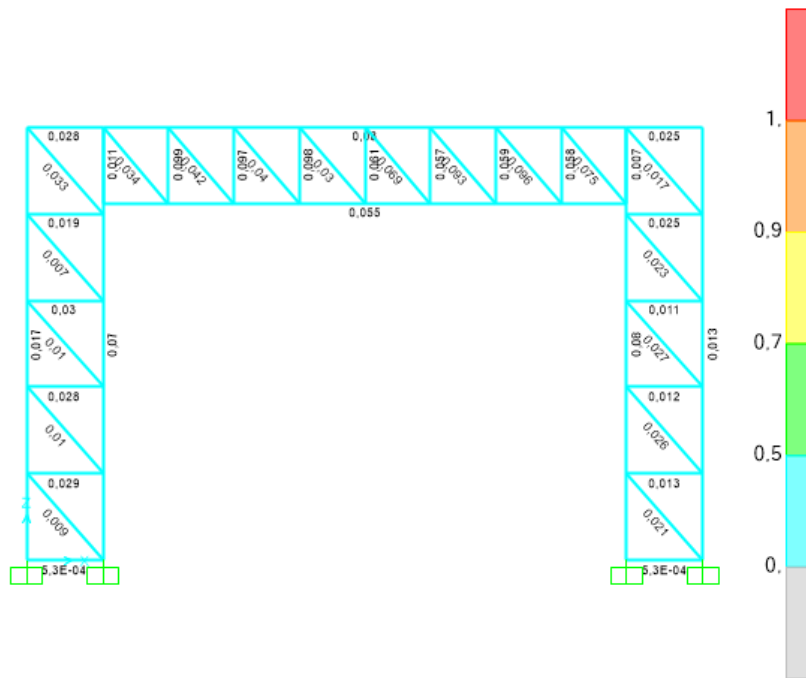
Diagrama de momentos:



**Figura 23-4:** Diagrama de momentos del pórtico

Realizado por: Autores

Resultados de resistencia según LRFD:



**Figura 24-4:** Análisis de resistencia de los perfiles seleccionados

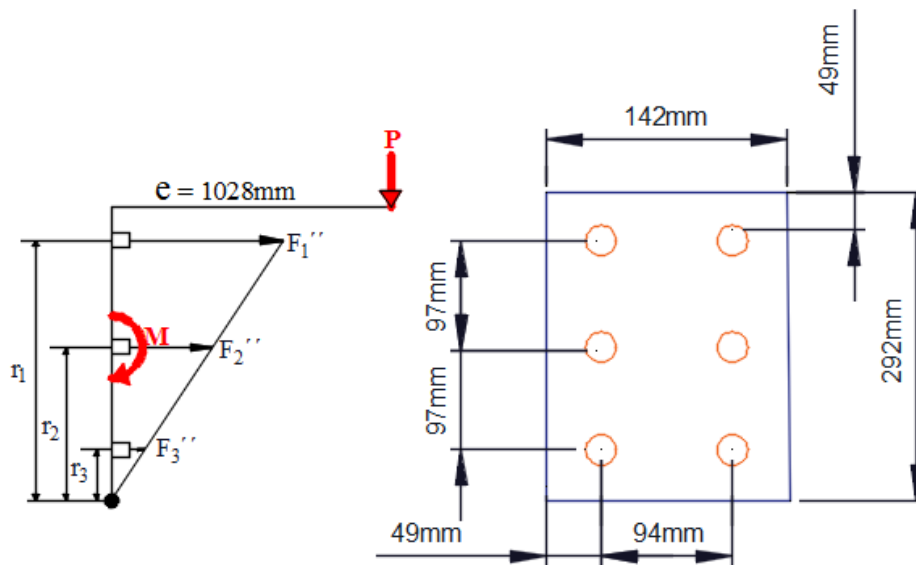
Realizado por: Autores

Como se observa la  $\frac{D}{C} = 0,099$  (Demanda/Capacidad) es menor que 1, los perfiles seleccionados soportan la respectiva carga aplicada.

**4.1.11 Selección de pernos en el pórtico.** Para la selección de pernos se debe considerar la carga aplicada la cual genera un momento, las fórmulas a emplearse para su diseño mediante BUDYNAS.

La carga aplicada en la estructura es excéntrica, para su diseño se tomará en cuenta un solo lado ya que es simétrico, se considera el diseño a tracción secundaria para la ubicación de los pernos.

*Selección de pernos a tracción secundaria.* En la figura se detalla la carga P que está a tracción, la cual genera un momento flector, la fuerzas aplicadas en el perno están a tracción secundaria, la carga total aplicado en el pórtico es de 3000 N. Para el diseño de los pernos se considera la mitad de la carga ya que es simétrico.



**Figura 25-4:** Unión a tracción del perno

Realizado por: Autores

Donde:

$$r_1 = 0,243 \text{ m}$$

$$r_2 = 0,146 \text{ m}$$

$$r_3 = 0,049$$

$$\Sigma r_i^2 = 0,083m^2$$

$$M = P * e \tag{49}$$

$$M = 1500N(1,028m)$$

$$M = 1542 Nm$$

Fuerzas a tracción secundaria:

$$F''_{if} = \frac{mr_i}{\Sigma r_i^2} \tag{50}$$

$$F''_{1f} = \frac{(1542Nm)(0,243m)}{0,083m^2}$$

$$F''_{1f} = 4514,53N$$

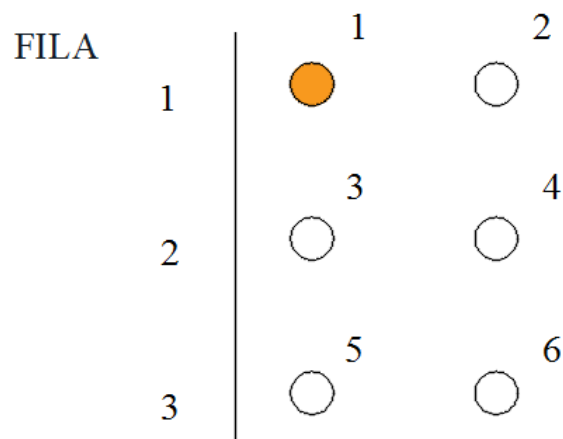
$$F''_{2f} = \frac{(1542Nm)(0,146m)}{0,083m^2}$$

$$F''_{2f} = 2712,43 N$$

$$F''_{3f} = \frac{(1542Nm)(0,049m)}{0,083m^2}$$

$$F''_{3f} = 910,34 N$$

Distribución de pernos:



**Figura 26-4:** Distribución de pernos

Realizado por: Autores



Fila 1:

$$f''_1 = \frac{4514,53 \text{ N}}{2}$$
$$f''_1 = 2257,27 \text{ N} = f''_2$$

Fila 2:

$$f''_3 = \frac{2712,43 \text{ N}}{2}$$
$$f''_3 = 1356,22 \text{ N} = f''_4$$

Fila 3:

$$f''_5 = \frac{910,34 \text{ N}}{2}$$
$$f''_5 = 455,17 \text{ N} = f''_6$$

Punto crítico:

Está en el perno 1

$$F''_1 = 2257,27 \text{ N}$$

Diseño a tracción:

$$P = 2257,27 \text{ N}$$

$$\eta = 10$$

$C = 0,3$  sin empaque

$$F_i = 0,75 S_p * A_t \quad (51)$$

Donde:

$F_i$  = Precarga

$S_p$  = Resistencia de prueba

$A_t$  = Área de esfuerzo de tensión

Material del perno:

Para conexiones estructurales se utilizan del ASTM Por su resistencia que presentan como se puede observar en el Anexo R.

Para ASTM 307:

$$S_y = 36Ksi = 248 MPa$$

$$S_p = 33Ksi = 227,33 MPa$$

La ecuación a emplearse para uniones a tensión cargada en forma estática con precarga es la siguiente:

$$\frac{F_i}{A_t} + \frac{\eta c P}{A_t} = S_p \quad (52)$$

Donde:

$$\frac{0,75 S_p A_t}{A_t} + \frac{\eta c P}{A_t} = S_p$$

Despejando se tiene:

$$A_t = \frac{\eta c P}{S_p - 0,75 S_p}$$

$$A_t = \frac{10(0,3)(2257,27 N)}{(227 \times 10^6 Pa) - 0,75(227,33 \times 10^6 Pa)}$$

$$A_t = 1,19 \times 10^{-4} m^2$$

$$A_t = 119,15 mm^2$$

Se selecciona un perno con paso grueso y área del diámetro menor (Anexo S):

*M16X2*

Resistencia del perno:

Mediante la siguiente expresión se determina si resiste o no el perno seleccionado.

$$3db < x < 10 db$$

Donde:

$db$  = Diámetro del perno [mm]

$x = r$  (Distancia entre pernos) [mm]

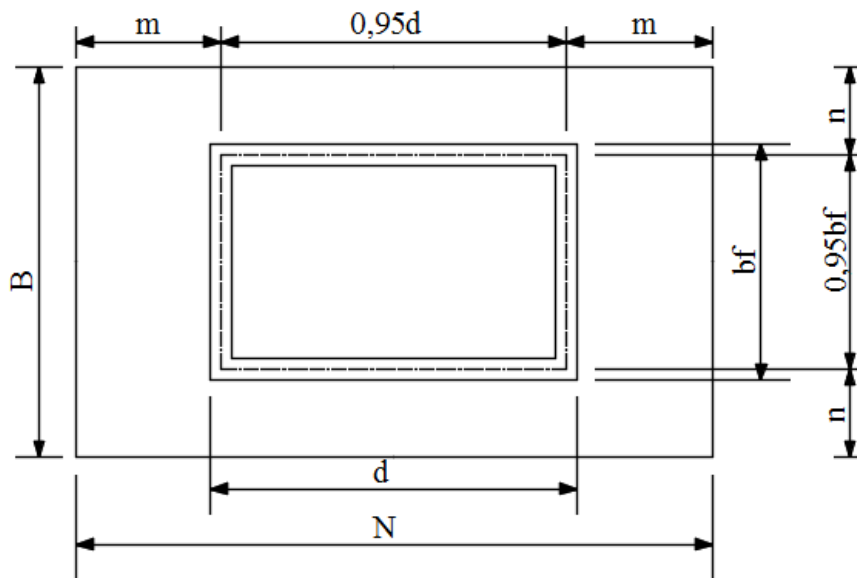
$$r = 94 \text{ mm}$$

$$3(16) < 94 < 10(16)$$

$48 < 94 < 160$  Si resiste el perno seleccionado es aceptable

**4.1.12 Diseño de la placa base.** Para el diseño se considera las cargas presentes, la carga muerta y la carga viva que actúa en el pórtico, por la simetría se considera la mitad de la carga viva para su diseño.

**4.1.12.1 Diseño de placa base con carga axial.** El diseño según AISC Specification J8. En la figura se observa la geometría de la sección para realizar el diseño de la placa, el cual se ha considerado un tubo rectangular.



**Figura 27-4:** Sección de la placa base

Realizado por: Autores

Datos a considerarse para el diseño:

$$D = 1062,52 \text{ N} = 0,24 \text{ Kips (Peso de la estructura pórtico)}$$

$$L = 3000 \text{ N} = 0,68 \text{ Kips}$$

Material A36:

$$F_y = 36 \text{ Ksi}$$

$$F'_c = 2,4 \text{ Ksi recomendado}$$

Donde:

$D$  = Carga muerta

$L$  = carga viva

$F'c$  = Resistencia a la compresión de concreto

Según caso II  $A_1 < A_2$ :

Donde:

$A_1$  = Área de la placa base

$A_2$  = Área del pedestal

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 1,2 \text{ se asume entre } (1,2 - 1,6)$$

$$P_u = 1,2 D + 1,6 L \quad (53)$$

$$P_u = 1,2 (0,24 \text{ kips}) + 1,6 (0,34 \text{ kips})$$

$$P_u = 0,83 \text{ kips}$$

$$A_1 = \frac{P_u}{\phi_c * 0,85 * f'_c * \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}} \quad (54)$$

$$A_1 = \frac{0,83 \text{ kips}}{(0,65)(0,85)(2,4 \text{ kips})(1,2)}$$

$$A_1 = 0,52 \text{ in}^2$$

$$\Delta = \frac{0,95d - 0,95bf}{2} \quad (55)$$

$$\Delta = \frac{0,95(11,81 \text{ in}) - 0,95(5,91 \text{ in})}{2}$$

$$\Delta = 2,8 \text{ in}$$

$$A_2 = N \times B$$

$$A_2 = 22 \times 15$$

$$A_2 = 330 \text{ in}^2 \text{ asumo}$$

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 1,2$$

Despejando  $A_1$  se tiene:

$$A_1 = \frac{A_2}{(1,2)^2}$$

$$A_1 = \frac{330 \text{ in}^2}{(1,2)^2}$$

$$A_1 = 229,17 \text{ in}^2$$

De donde:

$$\sqrt{\frac{330 \text{ in}^2}{229,17 \text{ in}^2}} = 1,19$$

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta \quad (56)$$

$$N = \sqrt{229,17 \text{ in}^2} + 2,8$$

$$N = 17,94 \text{ in} \approx 18 \text{ in}$$

$$B = \frac{A_1}{N} \quad (57)$$

$$B = \frac{229,17 \text{ in}^2}{18 \text{ in}}$$

$$B = 12,73 \text{ in} \approx 13 \text{ in}$$

Resistencia según LRFD:

$$\phi_c * P_c = \phi_c * 0,85 f'_c * A_1 * \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} < 1,7 * \phi_c * f'_c * A_1 \quad (58)$$

$$0,65(0,85)(2,4 \text{ kips})(13 \text{ in})(18 \text{ in})(1,2) < 1,7(0,65)(2,4 \text{ kips})(13 \text{ in})(18 \text{ in})$$

$$362,34 \text{ kips} < 620,57 \text{ kips}$$

$$\phi_c * P_c = 620,57 \text{ kips}$$

$$\frac{D}{C} = \frac{0,83 \text{ kips}}{620,57 \text{ kips}} = 0,0013 \text{ es considerado}$$

Espesor de placa según LRFD:

$$m = \frac{N - 0,95d}{2} \quad (59)$$

$$m = \frac{18in - 0,95(11,81 in)}{2}$$

$$m = 3,39 in$$

$$n = \frac{B - 0,95bf}{2} \quad (60)$$

$$n = \frac{13in - 0,95(5,91in)}{2}$$

$$n = 3,69 in$$

$$n' = \frac{\sqrt{dbf}}{4} \quad (61)$$

$$n' = \frac{\sqrt{11,81 in(5,91 in)}}{4}$$

$$n' = 2,09 in$$

$$L = \text{máx}(m, n, n')$$

$$L = 3,69 in$$

$$tr = L \sqrt{\frac{2 * Pu}{0,9 * fy * B * N}} \quad (62)$$

$$tr = 3,69 in \sqrt{\frac{2(0,83kips)}{0,9(36ksi)(13in)(18in)}}$$

$tr = 0,055 in$ , para obtener una placa considerable se multiplica por un factor de seguridad.

$$Fs = 4$$

$$tr = 0,055in(4)$$

$$tr = 0,22 in \approx 0,25 in$$

La dimensión de la placa es:

$$PL = 1/4 x 18x13$$

**4.1.13 Análisis de la estructura escalera.** Mediante el software SAP 2000, se realiza la resistencia de la estructura con la carga aplicada y según los perfiles seleccionados verificar la demanda/capacidad que sea menor que uno.

Tipo de secciones:

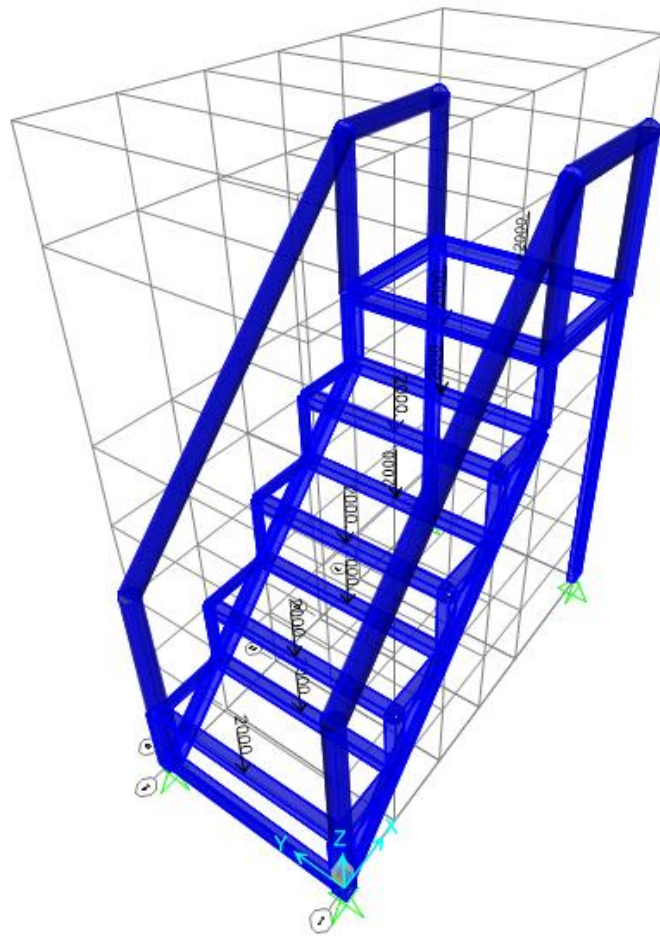
Descripción	Material
TC 50x50x2	Acero estructural A500
TR 2x1,5 in	Acero estructural A513
C 200x50x3	Acero estructural A36

**Tabla 8-4:** Tipo de secciones en la estructura escalera

Realizado por: Autores

Carga viva en la estructura:

Se considera la carga viva como es el peso del quintal de cacao más el peso de la persona que es de 2000 N para su análisis.

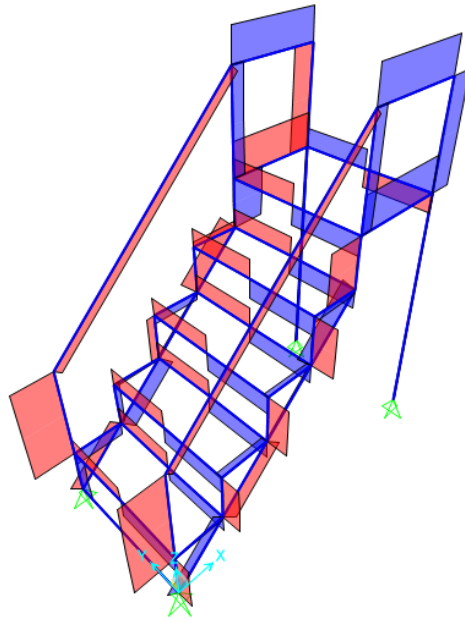


**Figura 28-4:** Aplicación de la carga en la estructura

Realizado por: Autores

Diagrama de cortante:

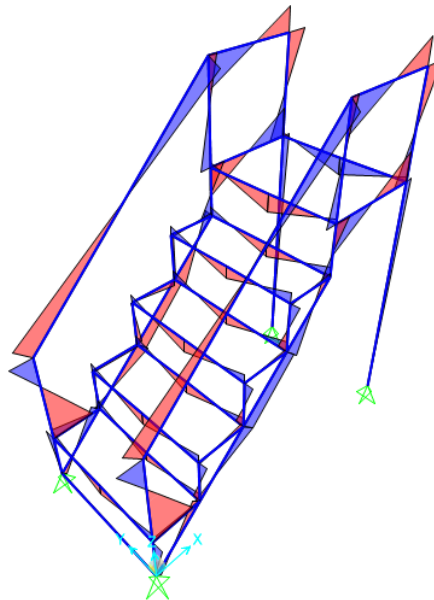




**Figura 29-4:** Diagrama de cortante en la escalera

Realizado por: Autores

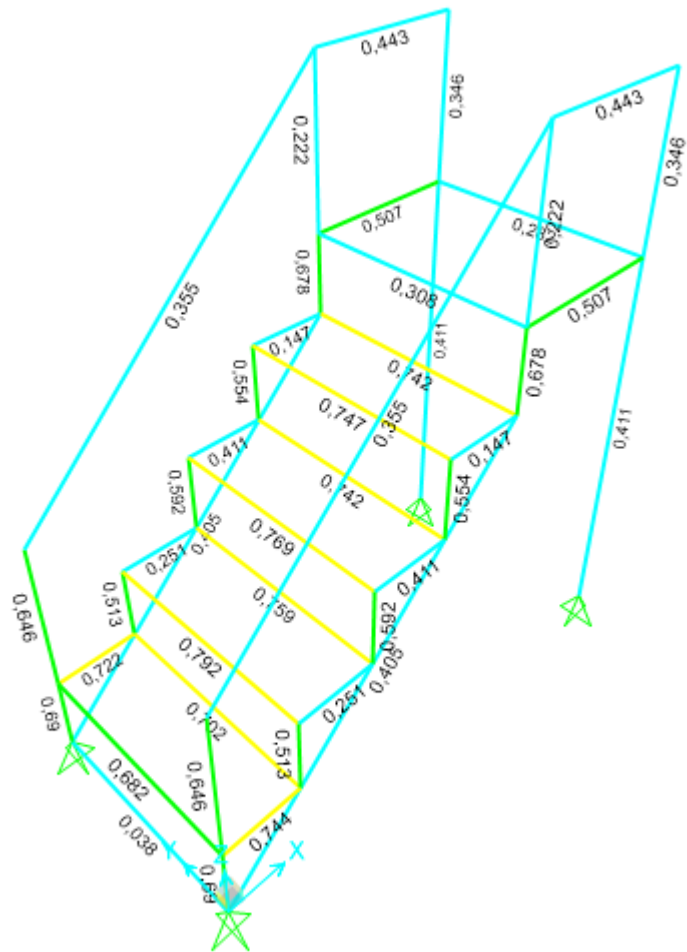
Diagrama de momentos:



**Figura 30-4:** Diagrama de momentos en la escalera

Realizado por: Autores

Resultados del análisis:



**Figura 31-4:** Resultados de la demanda capacidad

Realizado por: Autores

Los resultados obtenidos del análisis como se observa la demanda capacidad es de 0,792 y es menor que uno, el cual resiste la estructura con los perfiles seleccionados al aplicar la carga respectiva, ciertos valores que se aproximan cercanos a uno son considerables.

## 4.2 Diseño energético

Para el diseño térmico se considera la velocidad de aire constante dentro de la cámara de secado durante todo el proceso. La generación de calor y el flujo de aire para los cálculos son constantes.

Para el cálculo de las propiedades psicométricas se requieren dos parámetros como es la temperatura y la altitud a la que funcionará el equipo.

Santo Domingo de los Tsáchilas se encuentra situado a 750 msnm, dato con el cual se ingresa a las tablas de propiedades de la atmósfera y mediante interpolación se obtiene el dato de presión 92,64 Kpa (Anexo T).

Datos para consideración de diseño térmico:

Masa = 750 kg

Humedad relativa= 80%

Temperatura de ingreso de aire = 25° C

Temperatura de salida de aire = 60° C

Humedad del cacao fermentado = 60%

**4.2.1 Análisis del volumen de cacao para el secador.** Para la determinación de volumen se emplea la siguiente ecuación.

$$m_{humedad} = h_u m_{muestra} \quad (63)$$

Donde:

“ $m_{humedad}$  = Masa de humedad contenida en la muestra [kg].” (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $h_u$  = Humedad contenida en el cacao a ser secado.” (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $m_{muestra}$  = Masa de muestra de cacao [kg].” (LÓPEZ CHICA, 2015)

Se toma la humedad de cacao fermentado en nuestro caso

$$m_{humedad} = 0,6 (750 \text{ kg})$$

$$m_{humedad} = 450 \text{ kg}$$

*Porosidad y volumen de materia prima.* Se determina la porosidad del cacao que se desea secar.

Para lo cual se emplea la fórmula de densidad:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (64)$$

$$V_{cacao} = \frac{m}{\rho}$$

$$V_{cacao} = \frac{750kg}{775 \frac{kg}{m^3}}$$

$$V_{cacao} = 0,97m^3$$

Volumen del contenedor:

$$V = A L \quad (65)$$

$$V = \pi(1m)^2(0,62m)$$

$$V_{cilindro} = 1,95m^3$$

Porosidad:

$$\epsilon = \frac{V_{cacao}}{V_{cilindro}} \quad (66)$$

Donde:

$V_{cacao}$  = Volumen de cacao

$V_{cilindro}$  = Volumen del cilindro

$$\epsilon = \frac{0,97m^3}{1,95m^3}$$

$$\epsilon = 0,497$$

**4.2.2 Diseño térmico.** Se determina el flujo de aire requerido para lo cual se debe tomar en cuenta la velocidad de aire en la cámara de secado.

*Flujo de aire requerido.* Esto depende de la velocidad para conseguir un secado óptimo y la velocidad adecuada es de 1,5 m/s. (ESPINOZA MARTÍNEZ, y otros, 2015)

La fórmula a emplearse es la siguiente:

$$\dot{V} = A_{TC} * v \quad (67)$$

Donde:

$\dot{V}$  = Flujo de aire requerido [ $\frac{m^3}{s}$ ]

$A_{TC}$  = Área transversal del contenedor [ $m^2$ ]

$v$  = Velocidad de aire en la cámara de secado [ $\frac{m}{s}$ ]

$$A_{TC} = \frac{\pi Di^2}{4}$$

Donde:

$Di$  = Diámetro interno del contenedor

$$A_{TC} = \frac{\pi(2m)^2}{4}$$

$$A_{TC} = 3,14m^2$$

$$\dot{V} = (3,14m^2) (1,5\frac{m}{s})$$

$$\dot{V} = 4,71\frac{m^3}{s}$$

*Masa de aire.* Se determina la densidad de aire mediante el Anexo T, ya que se ingresa con el valor de la altitud que es de 750 msnm, con la interpolación se obtiene el dato de densidad que es  $1,14\frac{kg}{m^3}$ . (CENGEL, et al., 2012)

$$\dot{m}_{aire} = \rho_{aire} \dot{V} \quad (68)$$

Donde:

$\dot{m}_{aire}$  = Masa del aire [ $\frac{kg}{s}$ ]

$\rho_{aire}$  = Densidad del aire [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

$\dot{V}$  = Flujo de aire [ $\frac{m^3}{s}$ ]

$$\dot{m}_{aire} = (1,14\frac{kg}{m^3})(4,71\frac{m^3}{s})$$

$$\dot{m}_{aire} = 5,37\frac{kg}{s}$$

**4.2.3 Acondicionamiento de aire.** Para el análisis se necesitan de propiedades, como es la presión de 92,64 Kpa para Santo Domingo de los Tsáchilas y la temperatura de ingreso es de 25 ° C, con una humedad relativa del 80% a partir de estos datos se encuentran las demás propiedades mediante el software Engineering Equation Solver (EES).

**Tabla 9-4:** Propiedades del aire al inicio del proceso de calentamiento

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

Unit System: **SI**

Atmospheric Pressure: **92,64** [kPa]

Select the first input variable:  
**Dry-bulb Temperature** = **25** [°C]

Select the second input variable:  
**Relative Humidity, 0 to 1** = **0,8** [ ]

**Solution**

<b>Tdb = 25,0</b> [°C]	<b>P = 92,64</b> [kPa]	<b>w = 0,0175</b>
<b>Twb = 22,3</b> [°C]	<b>Rh = 0,8</b>	<b>v = 0,9498</b> [m <sup>3</sup> /kg]
<b>Tdp = 21,3</b> [°C]		<b>h = 69,75</b> [kJ/kg]

Select the input variables and then

Realizado por: Autores

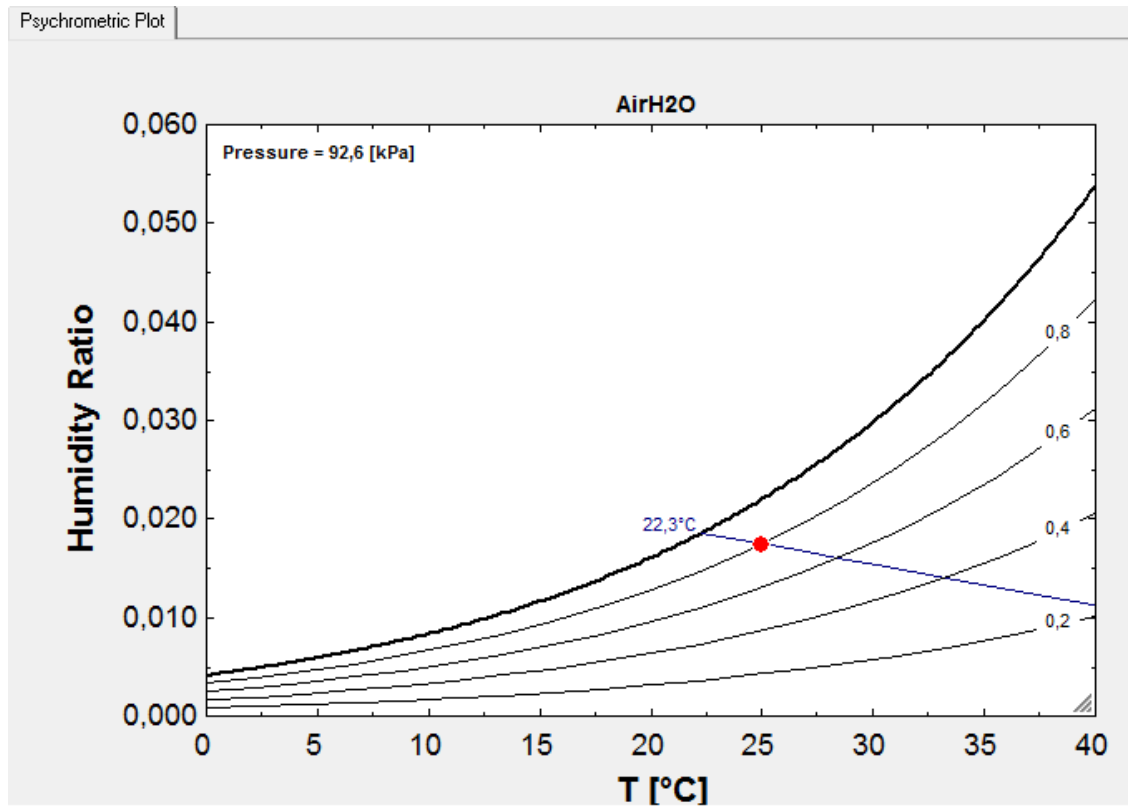
En la posterior tabla se puede visualizar las propiedades encontradas mediante el software (EES).

**Tabla 10-4:** Propiedades del aire al inicio para el calentamiento

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Presión atmosférica (Patm)	92,64	kPa
Temperatura de bulbo seco (Tbs)	25	° C
Humedad relativa (Hr)	80	%
Humedad absoluta (W)	0,0175	
Volumen específico (v)	0,9498	m <sup>3</sup> /kg
Entalpía	69,75	kJ/kg

Realizado por Autores

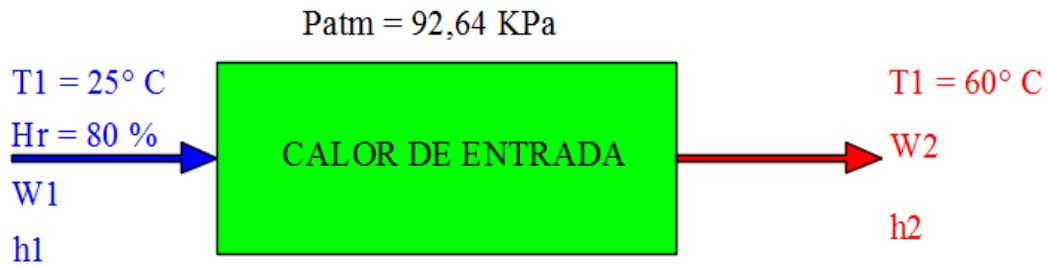
En la gráfica se determina el punto 1 que es el aire de inicio para el proceso de calentamiento.



**Gráfico 3-4:** Proceso de inicio de calentamiento

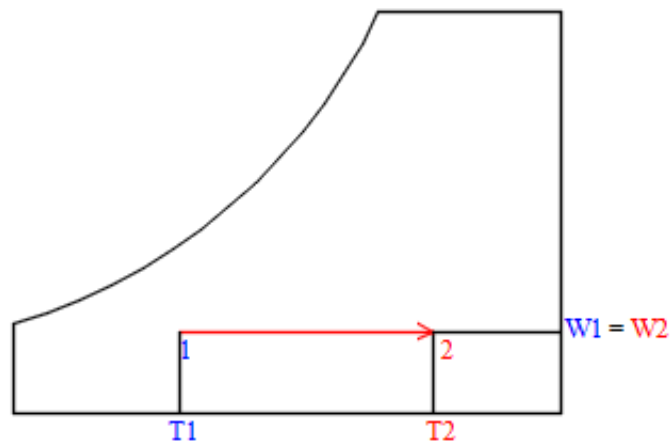
Realizado por: Autores

El proceso de calentamiento como se pueda ver en el gráfico 4-4 corresponde de P1 – P2, en el cual se mantiene constante la humedad absoluta del aire, la temperatura de aire se incrementa debido a una fuente de calor que en este caso es mediante el quemador.



**Figura 32-4:** Temperatura de ingreso y salida del aire

Realizado por: Autores



**Gráfico 4-4:** Proceso de calentamiento

Realizado por: Autores

Par determinar las propiedades del aire en el punto de salida se considera que la humedad absoluta es la misma en el punto uno como en el punto dos de 0,0175, además en la cámara de secado se mantiene la presión ambiente de 92,64 KPa.

Mediante el software Engineering Equation Solver (EES), se ingresa los datos conocidos como es la temperatura de secado a 60°C, presión atmosférica y la humedad absoluta.



**Tabla 11-4:** Propiedades del aire al final del proceso de calentamiento

**Properties of Moist Air and the Psychrometric Chart**

(Reasonable values must be supplied)

Unit System: **SI**

Atmospheric Pressure: **92,64** [kPa]

Select the first input variable:

**Dry-bulb Temperature** = **60** [°C]

Select the second input variable:

**Humidity Ratio** = **0,0175** [ ]

**Solution**

Tdb = 60,0 [°C]	P = 92,64 [kPa]	w = 0,0175
Twb = 30,2 [°C]	Rh = 0,1271	v = 1,061 [m <sup>3</sup> /kg]
Tdp = 21,3 [°C]		h = 106,1 [kJ/kg]

Select the input variables and then

Calculate

Show Plot

Realizado por: Autores

En la tabla se puede visualizar las propiedades del proceso final de calentamiento.

**Tabla 12-4:** Propiedades del aire de secado

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Presión de secado (Psec)	92,64	kPa
Temperatura de secado (Tsec)	60	° C
Humedad relativa (Hr)	12,71	%
Humedad absoluta (W)	0,0175	
Volumen específico (v)	1,061	m <sup>3</sup> /kg
Entalpía	106,1	kJ/kg

Realizado por: Autores

*Flujo de energía utilizada para calentar el aire.* Para determinar el flujo se emplea de la siguiente ecuación: (ZABALA, 2012)

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{m}_{aire}(h_2 - h_1) \quad (69)$$

Donde:

$\dot{Q}_{aire}$  = Potencia de calentamiento [W]

$\dot{m}_{aire}$  = Masa del aire [kg/s]

“ $h_1$  = Entalpia del aire al inicio del proceso de calentamiento [kJ/kg]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $h_2$  = Entalpia del aire al final del proceso de calentamiento [kJ/kg]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

$$\dot{Q}_{aire} = 5,37 \frac{kg}{s} (106,1 - 69,75) \frac{kJ}{kg}$$

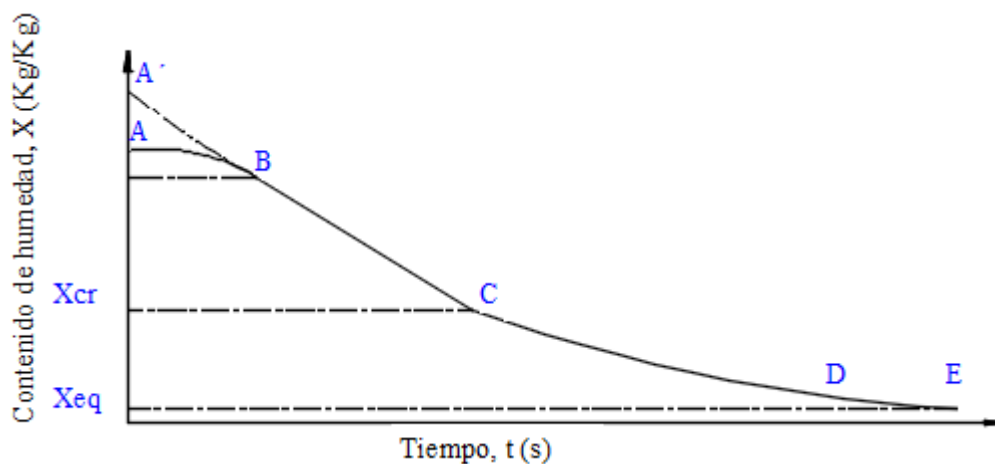
$$\dot{Q}_{aire} = 195,19 \frac{kJ}{s}$$

$$\dot{Q}_{aire} = 195,19 \text{ KW}$$

**4.2.4 *Proceso de secado.*** Se presentan curvas de secado obtenidas mediante laboratorios los cuales pueden ser:

- Contenido de humedad vs. Tiempo (Curva de secado).
- Velocidad de secado vs. Contenido de humedad (Curva de velocidad de secado).
- Temperatura vs. Contenido de humedad (Curva de temperatura).

En la figura se puede visualizar la gráfica humedad vs tiempo.



**Gráfico 5-4:** Curva de secado

Fuente: (ESPINOZA MARTÍNEZ, y otros, 2015)

Para el secado la temperatura no debe superar los 60° C ya que se deteriora el grano y pierden sus características, para lograr un mejor resultado el proceso de secado debe ser lento y a bajas temperaturas de inicio.

Al realizar una humidificación adiabática se toma una temperatura intermedia entre la entrada y la salida en este caso es 35° C.

**Tabla 13-4:** Propiedades del aire mediante proceso de humidificación

**Properties of Moist Air and the Psychrometric Chart**

(Reasonable values must be supplied)

Unit System: **SI**

Atmospheric Pressure: **92,64 [kPa]**

Select the first input variable:

**Dry-bulb Temperature** = **35 [°C]**

Select the second input variable:

**Enthalpy** = **106,1 [kJ/kg]**

**Solution**

<b>Tdb = 35,0 [°C]</b>	<b>P = 92,64 [kPa]</b>	<b>w = 0,02762</b>
<b>Twb = 30,0 [°C]</b>	<b>Rh = 0,6998</b>	<b>v = 0,9972 [m<sup>3</sup>/kg]</b>
<b>Tdp = 28,7 [°C]</b>		<b>h = 106,1 [kJ/kg]</b>

Select the input variables and then **Calculate**

**Show Plot**

Realizado por: Autores

La tabla presenta las propiedades del aire mediante el proceso de humidificación adiabática.

**Tabla 14-4:** Propiedades del aire con humidificación

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Presión de humidificación (Ph)	92,64	kPa
Temperatura de bulbo seco (Tbs)	35	° C
Humedad relativa (Hr)	69,98	%
Humedad absoluta (W)	0,02762	
Volumen específico (v)	0,9972	m <sup>3</sup> /kg
Entalpía	106,1	kJ/kg

Realizado por: Autores

**4.2.4.1 Recirculación de aire.** Para un correcto funcionamiento del sistema se determina la mezcla de aire.

Porcentaje de mezcla de aire:

$$m_s + m_{in} = m_r \quad (70)$$

Donde:

“ $m_s$  = Masa del aire que sale del proceso de secado [kg]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $m_{in}$  = Masa del aire que ingresa del ambiente [kg]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $m_r$  = Masa del aire resultante de la mezcla [kg]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

Al realizar un balance se tiene la siguiente expresión:

$$m_s h_s + m_{in} h_1 = m_r h_r \quad (71)$$

Donde:

“ $h_s$  = Entalpia de aire a la salida del proceso de secado [kJ/kg]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $h_1$  = Entalpia de aire al inicio del proceso de calentamiento [kJ/kg]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $h_r$  = Entalpia de mezcla de aire resultante [kJ/kg]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

De la ecuación 70 se tiene lo siguiente:

$$m_s = m_r - m_{in} \quad (72)$$

Al remplazar en la fórmula 71:

$$m_r h_s - m_{in} h_s + m_{in} h_1 = m_r h_r \quad (73)$$

$$m_{in} = m_r \frac{h_r - h_s}{h_1 - h_s} \quad (74)$$

$$m_{in} = j(m_r) \quad (75)$$

Para determinar el porcentaje de mezcla se emplea la siguiente ecuación:

$$j = \frac{h_r - h_s}{h_1 - h_s} \quad (76)$$

Donde:

“ $J$  = Factor de recirculación de aire”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“Para un factor de recirculación de aire del 50%”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

$$h_r = h_s + j(h_1 - h_s) \quad (77)$$

$$h_r = 106,1 \frac{kJ}{Kgaire} + 0,5 (69,75 - 106,1) \frac{kJ}{Kgaire}$$

$$h_r = 87,93 \frac{kJ}{Kgaire}$$

Mediante un balance de masa se tiene lo siguiente:

$$W_r = W_s + j(W_1 - W_s) \quad (78)$$

Donde:

“ $W_r$  = Humedad absoluta del aire resultante de la mezcla [ $\frac{Kg_{vapor}}{Kg_{aire}}$ ]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $W_s$  = Humedad absoluta del aire a la salida del proceso de secado [ $\frac{Kg_{vapor}}{Kg_{aire}}$ ]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $W_1 = \text{Humedad absoluta del aire al inicio del proceso de calentamiento} \left[ \frac{\text{Kg}_{\text{vapor}}}{\text{Kg}_{\text{aire}}} \right]$ ”.  
 (LÓPEZ CHICA, 2015)

$$W_r = 0,02762 \frac{\text{Kg}_{\text{vapor}}}{\text{Kg}_{\text{aire}}} + 0,5 (0,0175 - 0,02762) \frac{\text{Kg}_{\text{vapor}}}{\text{Kg}_{\text{aire}}}$$

$$W_r = 0,02256 \frac{\text{Kg}_{\text{vapor}}}{\text{Kg}_{\text{aire}}}$$

Con la humedad absoluta y entalpia en la mezcla, se define completamente el aire resultante.

**Tabla 15-4:** Propiedades del aire resultante de la mezcla

**Properties of Moist Air and the Psychrometric Chart**

(Reasonable values must be supplied)

Unit System: **SI**

Atmospheric Pressure: **92,64 [kPa]**

Select the first input variable:

**Enthalpy** = **87,93 [kJ/kg]**

Select the second input variable:

**Humidity Ratio** = **0,02256 [ ]**

**Solution**

<b>Tdb = 30,1 [°C]</b>	<b>P = 92,64 [kPa]</b>	<b>w = 0,02256</b>
<b>Twb = 26,5 [°C]</b>	<b>Rh = 0,7614</b>	<b>v = 0,9735 [m<sup>3</sup>/kg]</b>
<b>Tdp = 25,4 [°C]</b>		<b>h = 87,93 [kJ/kg]</b>

Select the input variables and then **Calculate**

**Show Plot**

Realizado por: Autores

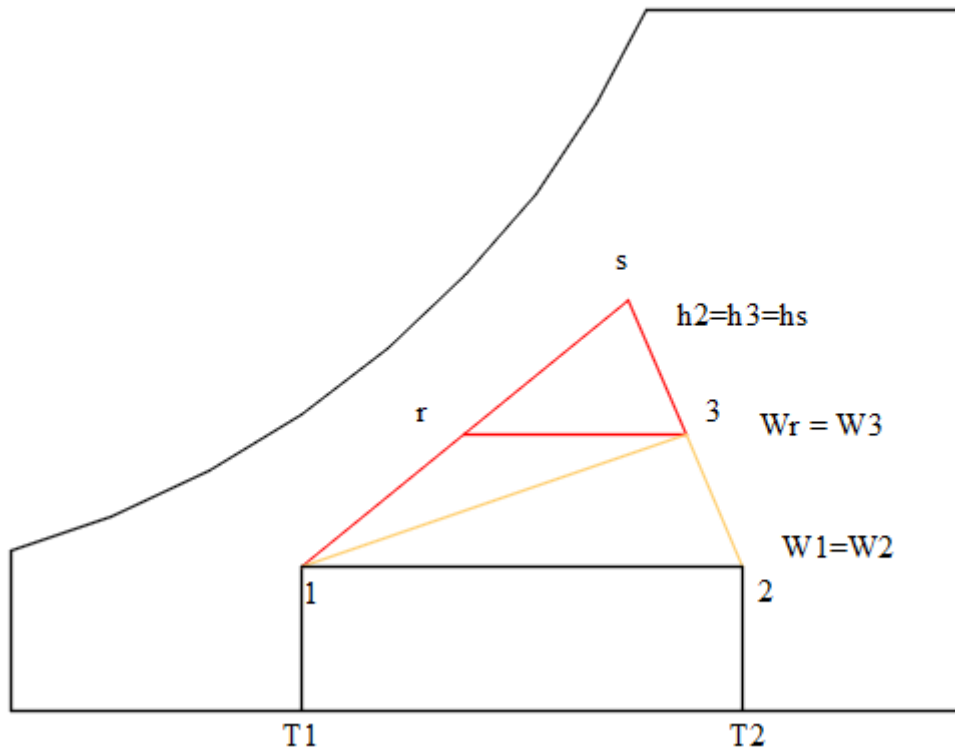
Datos obtenidos a partir de la mezcla.

**Tabla 16-4:** Propiedades del aire de la mezcla

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Presión de mezcla (Pm)	92,64	kPa
Temperatura de bulbo seco (Tbs)	30,1	° C
Humedad relativa (Hr)	76,14	%
Humedad absoluta (W)	0,02256	
Volumen específico (v)	0,9735	m <sup>3</sup> /kg
Entalpía	87,93	kJ/kg

Realizado por: Autores

En la posterior figura se detalla el proceso de secado.



**Gráfico 6-4:** Diagrama del proceso de secado

Realizado por: Autores

Calor necesario en la mezcla de aire:

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{m}_{aire} (h_3 - h_r) \quad (79)$$

Donde:

“ $\dot{Q}_{aire}$  = Rapidez de transferencia de calor [W]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $h_3$  = Entalpia de aire a la salida del proceso de secado [kJ/kg]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $h_r$  = Entalpia de aire resultante de la mezcla [kJ/kg]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

$$\dot{Q}_{aire} = 5,37 \frac{Kg}{s} (106,1 \frac{KJ}{Kg} - 87,93 \frac{KJ}{Kg})$$

$$\dot{Q}_{aire} = 97,57 \text{ KW}$$

*Humidificación del aire.* El proceso de humidificación se origina al entrar en contacto humedad con el aire caliente. Mediante un balance se determina el vapor extraído por el cacao.

$$\dot{m}_w = \dot{m}_{aire} (W_s - W_r) \quad (80)$$

Donde:

“ $W_3 = W_r$ ”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $\dot{m}_w$  = Masa de vapor extraída del cacao [kg/s]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $W_s$  = Humedad absoluta del aire a la salida del proceso de secado [ $\frac{Kg_{vapor}}{Kg_{aire}}$ ]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $W_r$  = Humedad absoluta del aire resultante de la mezcla [ $\frac{Kg_{vapor}}{Kg_{aire}}$ ]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

$$\dot{m}_w = 5,37 \frac{Kg_{aire}}{s} (0,02762 - 0,02256) (\frac{Kg_{vapor}}{Kg_{aire}})$$

$$\dot{m}_w = 0,027 \frac{Kg}{s} = 97,2 \frac{Kg}{h}$$



**4.2.4.2 Tiempo de secado.** Para determinar el tiempo se analiza la masa de humedad del cacao con respecto a la masa de vapor de cacao.

$$m_w = \frac{m_{humedad}}{t_{secado}} \quad (81)$$

Despejando se tiene:

$$t_{secado} = \frac{m_{humedad}}{m_w}$$

Donde:

$t_{secado}$  = Tiempo de secado [horas]

$m_{humedad}$  = Masa de humedad del cacao fermentado [kg]

$m_w$  = Masa de vapor de cacao [kg/h]

$$t_{secado} = \frac{450Kg}{97,2\frac{Kg}{h}}$$

$$t_{secado} = 4,63 \text{ horas} \approx 5 \text{ horas}$$

**4.2.5 Pérdidas de calor en la cámara de secado.** Para determinar las pérdidas de calor en las paredes del cilindro se determina mediante convección, para la parte exterior al ambiente la convección natural libre y para la parte interna la convección forzada.

*Convección natural libre.* Se da entre un medio sólido en contacto directo con un medio líquido o gaseoso. El flujo resulta de la diferencia de temperaturas del fluido en presencia de una fuerza gravitacional, la densidad del fluido disminuye con el incremento de temperatura.

Las propiedades físicas del fluido ( $\rho$ ,  $\mu$ ,  $Pr$ ,  $\beta$ ,  $k$ ,  $Gr$ ) se deben evaluar a temperatura de capa límite conocida como temperatura fílmica. (HOLMAN, 1999)

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (82)$$

Donde:

$T_f$  = Temperatura fílmica [°C]

$T_s$  = Temperatura superficie del sólido [°C]

$T_{\infty}$  = Temperatura del aire [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_s = 30^{\circ}\text{C}$  Se asume para iterar

$T_{\infty} = 25^{\circ}\text{C}$

$$T_f = \frac{(30 + 25)^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$T_f = 27,5^{\circ}\text{C} = 300,5^{\circ}\text{K}$$

Con la temperatura fílmica mediante una interpolación se encuentran las siguientes propiedades a través del Anexo U.

**Tabla 17-4:** Propiedades del aire determinadas a temperatura fílmica

Densidad $\rho$ [ $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ ]	1,16
Calor específico $c_p$ [ $\frac{\text{KJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{K}}$ ]	1,007
Viscosidad dinámica $\mu$ [ $\frac{\text{Kg}}{\text{ms}}$ ]	0,0000185
Viscosidad cinemática $\nu$ [ $\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ ]	0,0000159
Conductividad térmica $K$ [ $\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{K}}$ ]	0,026
Número de prandt $Pr$	0,71

Realizado por: Autores

Coefficiente volumétrico de expansión térmica:

$$\beta = \frac{1}{T} \text{ para gases} \quad (83)$$

Donde:

$\beta$  = Coeficiente volumétrico de expansión térmica [ $^{\circ}\text{K}^{-1}$ ]

$T$  = Temperatura fílmica [ $^{\circ}\text{K}$ ]

$T = 300,5^{\circ}\text{K}$

$$\beta = \frac{1}{300,5^{\circ}\text{K}}$$

$$\beta = 0,0033^{\circ}\text{K}^{-1}$$

Número de Grashof:

$$Gr = \frac{\rho^2 g \beta \Delta T L c^3}{\mu^2} \quad (84)$$

Donde:

$Gr$  = Número de Grashof

$Lc$  = Longitud característica [m]

$T = 30^\circ\text{C} = 303^\circ\text{K}$

$$Gr = \frac{\left(1,16 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)^2 (9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) (0,0033^\circ\text{K}^{-1}) (30-25)^\circ\text{C} (0,6\text{m})^3}{(0,0000185 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}})^2}$$
$$Gr = 1,37 \times 10^8$$

Número de Rayleigh:

$$Ra = Gr * Pr \quad (85)$$

$$Ra = (1,37 \times 10^8) (0,71)$$

$$Ra = 9,73 \times 10^7$$

Número de Nusselt:

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2 \text{ para } 10^{-1} < Ra < 10^{12} \quad (86)$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 (9,73 \times 10^7)^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,71}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 60,57$$

Coefficiente convectivo:

$$Nu = \frac{h^\infty D}{K_f}$$

$$h^\infty = \frac{Nu * K_f}{D} \quad (87)$$

$$h^\infty = \frac{Nu * K_f}{D}$$

$$D = Lc$$

$$h_{\infty} = \frac{(60,57)(0,026 \frac{W}{m^2K})}{0,6m}$$

$$h_{\infty} = 2,62 \frac{W}{m^2K}$$

*Convección forzada.* Para el análisis de aire en el interior del cilindro se realiza por convección forzada.

Número de Reynolds en el interior:

$$R_{eD} = \frac{4\dot{m}_{aire}}{\pi D \mu} \quad (88)$$

Donde:

$R_{eD}$  = Número de Reynolds en el interior del cilindro

$\dot{m}_{aire}$  = Flujo másico del aire [kg/s]

$D$  = Diámetro interior del cilindro [m]

$\mu$  = Viscosidad dinámica [kg/ms]

$$R_{eD} = \frac{4(5,37 \frac{Kg}{s})}{\pi(2m)(1,85 \times 10^{-5})}$$

$$R_{eD} = 1,85 \times 10^5$$

Número de Nusselt:

$$N_{uD} = 0,023 R_{eD}^{0,8} Pr^n$$

$n = 0,4$  Calentamiento

$$N_{uD} = 0,023(1,85 \times 10^5)^{0,8} (0,71)^{0,4}$$

$$N_{uD} = 328,07$$

Coefficiente convectivo:

$$Nu = \frac{h_{\infty} D}{K_f}$$

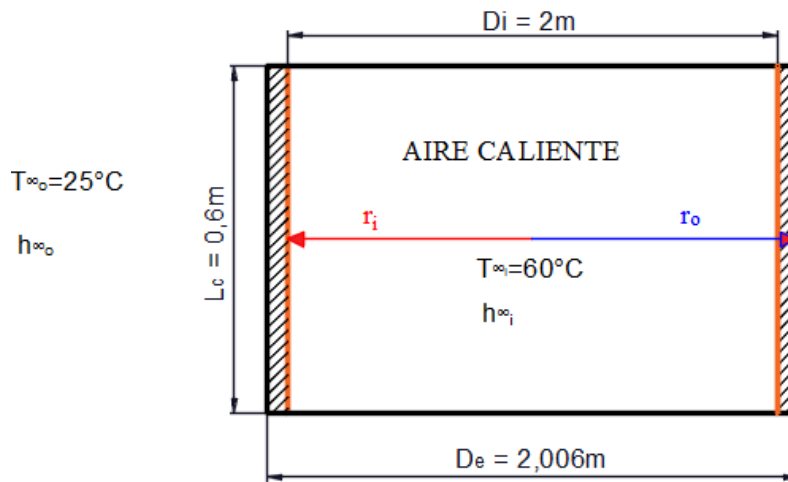
$$h_{\infty} = \frac{Nu * K_f}{D}$$

$$h\infty i = \frac{(328,07)(0,026 \frac{W}{m^2K})}{2m}$$

$$h\infty i = 4,26 \frac{W}{m^2K}$$

*Pérdidas de calor en la cámara de secado.* Para realizar las pérdidas de calor se consideran los coeficientes convectivos en el interior y exterior de la cámara que fueron determinadas anteriormente.

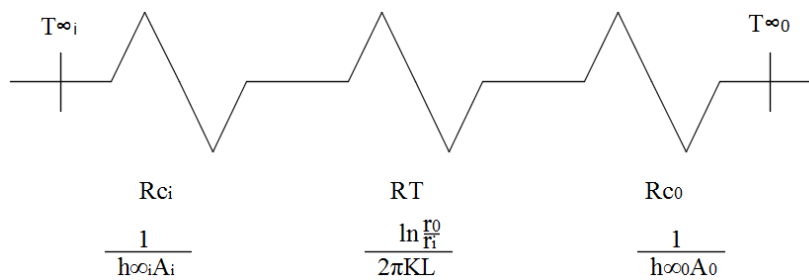
En el esquema se detalla lo siguiente:



**Figura 33-4:** Cámara de secado

Realizado por: Autores

Para el análisis de transferencia de calor se tiene el siguiente circuito térmico.



**Figura 34-4:** Circuito térmico

Realizado por: Autores

El flujo mediante el circuito se representa:

$$Q = \frac{\Delta T}{\Sigma RT} [W] \quad (89)$$

$$\Delta T = T_{\infty i} - T_{\infty 0}$$

$$A_i = 2\pi r_i L$$

$$A_i = 2\pi(1m)(0,6m)$$

$$A_i = 3,77m^2$$

$$A_0 = 2\pi r_0 L$$

$$A_0 = 2\pi(1,003m)(0,6m)$$

$$A_0 = 3,78m^2$$

$$R_{ci} = \frac{1}{h_{\infty i} A_i} \quad (90)$$

$$R_{ci} = \frac{1}{4,26 \frac{W}{m^{\circ}K} (3,77m^2)}$$

$$R_{ci} = 0,06 \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$RT = \frac{\ln \frac{r_0}{r_i}}{2\pi KL} \quad (91)$$

Donde:

$K$  = Conductividad térmica [ $\frac{W}{m^{\circ}K}$  ]

$K = 15 \frac{W}{m^{\circ}K}$  Acero inoxidable AISI 304 (Anexo V).

$$RT = \frac{\ln \frac{1,003m}{1m}}{2\pi(15 \frac{W}{m^{\circ}K})(0,6m)}$$

$$RT = 5,3 \times 10^{-5} \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$R_{c0} = \frac{1}{h_{\infty 0} A_0} \quad (92)$$

$$R_{c0} = \frac{1}{2,62 \frac{W}{m^{\circ}K} (3,78m^2)}$$

$$R_{c0} = 0,1 \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$\Sigma RT = R_{ci} + RT + R_{co}$$

$$\Sigma RT = 0,16 \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$Q = \frac{(60-25)^{\circ}K}{0,16 \frac{^{\circ}K}{W}}$$

$$Q = 218,75 W$$

### 4.3 Selección del combustible y el quemador

**4.3.1 Selección del combustible.** Se realiza un estudio de los tipos de combustible que existe en el Ecuador como se visualiza en la tabla.

**Tabla 18-4:** Porcentajes de combustión y quemado de los tipos de combustibles

Combustible	Rendimiento de la combustión	Rendimiento de quemado
Gas Natural	95-98	98-99
Gas Licuado	95-98	98-99
Residual 6	70-77	92-95
Residual 5	70-77	93-95
Diésel 2	80-83	93-95
Leña	45-55	80-85
Carbón Sub-bituminoso	55-60	87-90
Carbón Bituminoso	55-60	87-90

Fuente: (PLAZA ESPINOZA, et al., 2012)

Por mayor comodidad, precio y rendimiento se selecciona el combustible GLP, el cual está compuesto de propano y butano.

Este tipo de combustible es más eficiente para realizar el secado ya que la utilización del mismo no afecta las propiedades del cacao durante el secado, este sistema mejora la eficiencia ya que es menos costoso en comparación de utilizar intercambiadores de calor o mediante resistencias eléctricas, como también el uso de combustible diésel es contaminante para el producto lo cual no se recomienda para este tipo de proceso.

**Tabla 19-4: Poder calorífico de los combustibles**

Tipos de combustible		PCI (GJ/t)	PCI (KWh/Kg)	PCI (Kcal/Kg)	PCI (tep/t)
Petróleo y productos petrolíferos	Petróleo Bruto	42,55	11,82	10190	1,0190
	Materias prima de refinería	39,88	11,08	9550	0,9550
	GLP	45,89	12,75	10990	1,0990
	Propano	46,20	12,83	11063	1,1063
	Butano	44,78	12,44	10723	1,0723
	Queroseno	42,89	11,91	10270	1,0270
	Gasolina	43,89	12,19	10510	1,0510
	Gasolina aviación	43,89	12,19	10510	1,0510
	Gasóleo automoción	42,47	11,80	10170	1,0170
	Otros gasóleos	42,47	11,80	10170	1,0170
	Fuelóleo	39,88	11,08	9550	0,9550
	Alquitrán	39,88	11,08	9550	0,9550
	Nafta	43,89	12,19	10510	1,0510
	Lubricantes	39,88	11,08	9550	0,9550
	Coque de petróleo	31,90	8,86	7640	0,7640
Gases	GNL	45,10	12,53	10800	1,0800
	Gas natural				
	Metano	50,00	13,89	11973	1,1973
	Etano	47,51	13,20	11350	1,1350
	Gas de refinería	49,36	13,71	11820	1,1820
	Gas de coquería				
	Gas de alto horno				
	Biogases en general				
	Biogás pobre				
	Biogás de vertedero				
Biogás de depuradora					

Fuente: (REPSOL)

**4.3.2 Análisis del combustible.** El combustible está compuesto de hidrocarburos, el GLP se obtiene a partir del gas natural o como producto de la refinación del petróleo crudo.

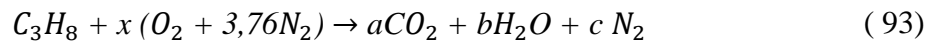
Los hidrocarburos se representan  $C_xH_y$ , el GLP es una mezcla aproximada de 60% Propano y 40% de Butano.

*Balance de masa en proceso de combustión.* Se realiza mediante un proceso estequiométrico el cual se refiere al uso de aire como comburente, el aire es capaz de oxidar cualquiera de los elementos.

En la combustión la masa de los reactivos es igual a la masa de los productos, la reacción de combustión se resume de la siguiente manera:

Combustible + Comburente = productos de combustión. (ZABALA, 2012)





Igualando la ecuación se tiene los siguientes coeficientes:

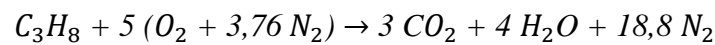
$$C_R = C_P \quad 1(3) = a(1) \rightarrow a = 3$$

$$H_R = H_P \quad 1(8) = b(2) \rightarrow b = 4$$

$$O_R = O_P \quad x(1)(2) = a(2) + b(1) \rightarrow x = 5$$

$$N_R = N_P \quad x(3,76)(2) = c(2) \rightarrow c = 18,8$$

Reemplazando se tiene:



*Relación aire – combustible.* Para el cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$AC = \frac{m_a}{m_c} \quad (94)$$

Donde:

$AC$  = Relación aire – combustible

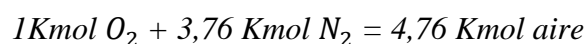
$m_a$  = Masa de aire

$m_c$  = Masa de combustible

El análisis molar o volumétrico del aire atmosférico, el aire seco está compuesto por 79% de Nitrógeno y 21% de Oxígeno, de esta manera cada mol de oxígeno estará acompañada por:

$$\frac{0,79}{0,21} = 3,76 \text{ moles de nitrógeno}$$

Es decir:



Para la masa de aire se tiene:

$$m_{aire} = N_{aire} m_{aire} \quad (95)$$

Donde:

“ $m_{aire}$  = Peso molecular del aire [kg/kmol]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $N_{aire}$  = Número de moles del aire [Kmol]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

$$m_{aire} = 5 (4,76kmol) (28,97) \frac{Kg}{Kmol}$$

$$m_{aire} = 689,486 Kg$$

Para la masa de combustible se utiliza la siguiente ecuación:

$$m_{comb} = N_C m_C + N_H m_H \quad (96)$$

Donde:

“ $m_C$  = Peso molecular del carbono [kg/kmol]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $N_C$  = Número de moles del carbono [kmol]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $m_H$  = Peso molecular del hidrógeno [kg/kmol]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $N_H$  = Número de moles del hidrógeno [kmol]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

$$m_C = 12,011 kg/kmol$$

$$m_H = 1,008 kg/kmol$$

$$m_{comb} = [12,011(3) + 1,008(8)] \frac{Kg}{mol}$$

$$m_{comb} = 44,097$$

El aire – combustible será:

$$AC = \frac{689,486Kg_{aire}}{44,097Kg_{comb}}$$

$$AC = 15,64 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{comb}}$$

*Flujo de combustible.* Para determinar la masa de combustible se emplea la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{comb} = \frac{\dot{Q}}{\eta * PCI_{GLP}} \quad (97)$$

Donde:

$\dot{m}_{comb}$  : Masa de combustible [kg/h]

“ $\dot{Q}$  = Calor necesario para el proceso [KW]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $\eta$  = Eficiencia de la caldera”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

“ $PCI_{GLP}$  = Poder calorífico inferior del GLP [kJ/kg]”. (LÓPEZ CHICA, 2015)

$$\dot{Q} = 195,19 \text{ KW}$$

$$\eta = 0,7$$

$$PCI_{GLP} = 10990 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \text{ (tabla 44).}$$

$$1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 0,238846 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$PCI_{GLP} = 46012,91 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\dot{m}_{comb} = \frac{195,19 \text{KW}}{0,7(46012,91) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} * 3600$$

$$\dot{m}_{comb} = 21,82 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

**4.3.3 Costo del combustible.** El costo del GLP en el Ecuador a nivel residencial se encuentra a 0,2 USD/Kg.

$$C_{comb} = (m_{comb}) (t_{secado}) (Precio/Kg) \quad (98)$$

Donde:

$C_{comb}$  = Costo del combustible [USD]

$m_{comb}$  = Masa del combustible [kg/h]

$$C_{comb} = (21,82 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}) (4,63 \text{ h}) (0,2 \frac{\text{USD}}{\text{kg}})$$

$$C_{comb} = 20,21 \text{ USD}$$

Lo que resultarían 6,74 cilindros de 15 kg

**4.3.4 Selección del quemador.** Para realizar una combustión uniforme es necesario:

- Proporción entre aire combustible adecuado.
- Mezcla adecuada de aire combustible.
- Temperatura de ignición adecuada.

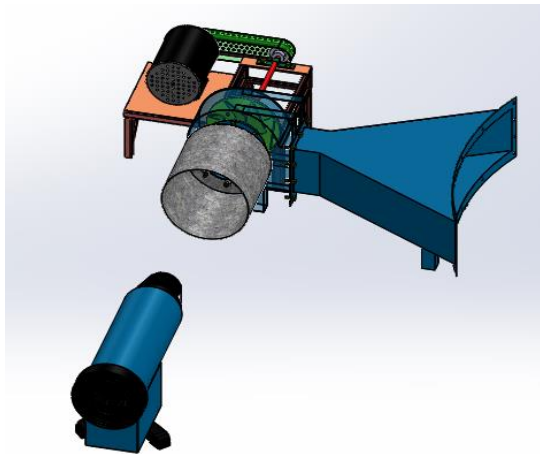
La capacidad de calor para el secado es de:

$$Q = 195,19 \text{ KW} = 167834,12 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Mediante el catálogo de quemadores ISO 9000 para el tipo de combustible GLP se seleccionó el siguiente:

Según el catálogo de quemadores industriales ISO 9000 se selecciona el modelo MB-30 hasta una capacidad de 300000 Kcal/h (Anexo W). Las dimensiones detallan en el Anexo X.

Para el ingreso de la llama a la cámara de secado se diseña con respecto al ventilador es ahí donde recibe el calor.



**Figura 35-4:** Entrada de llama al conducto

Realizado por: Autores

Para un mejor secado se ha diseñado el sistema de la siguiente manera como se aprecia en la figura, la llama ingresa a la entrada del ventilador de forma perpendicular de esta manera las aspas envían el aire caliente al interior de la cámara de secado, este sistema es

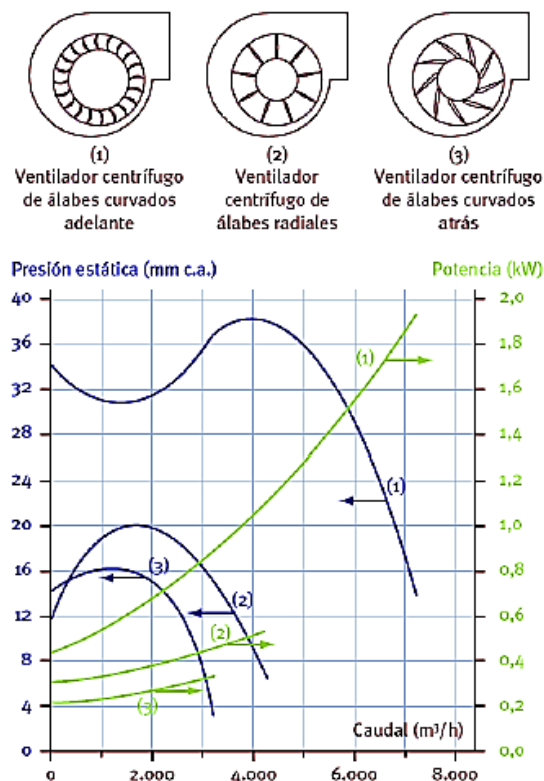
el más eficiente ya que en el interior del conducto no hay intervención del combustible en este caso el GLP que pueda afectar al producto.

#### 4.4 Selección del ventilador

El ventilador es una turbomáquina hidráulica generadora para gases, estos a su vez transforman energía mecánica en energía cinética y de presión de los fluidos gases.

En el secado para granos de capas finas se usan ventiladores axiales y para capas gruesas de grano es recomendado los ventiladores centrífugos, de esta manera su principio es que ingresa aire en dirección paralela al eje y sale en dirección perpendicular.

De acuerdo a la curvatura y disposición de los álabes existen tres tipos como se indica a continuación.



**Gráfico 7-4:** Curva característica de los tres ventiladores centrífugos

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

El ventilador centrífugo más eficiente es el de álabes curvados hacia atrás, ya que el diseño de los álabes se realiza para que el flujo entre y salga tangencialmente, proporcionan menor caudal.

Para caudales grandes y bajas presiones se utiliza ventiladores centrífugos curvados hacia adelante que es en nuestro caso, razón por el cual se seleccionará este tipo de ventilador.

Para el criterio de selección de los ventiladores se debe considerar los siguientes factores:

- Caudal y presión estática nominal
- Características del motor: monofásico o trifásico
- Ruido
- Configuración de la instalación: local a sobrepresión o depresión
- Fluido a transportar: aire de ventilación, climatización

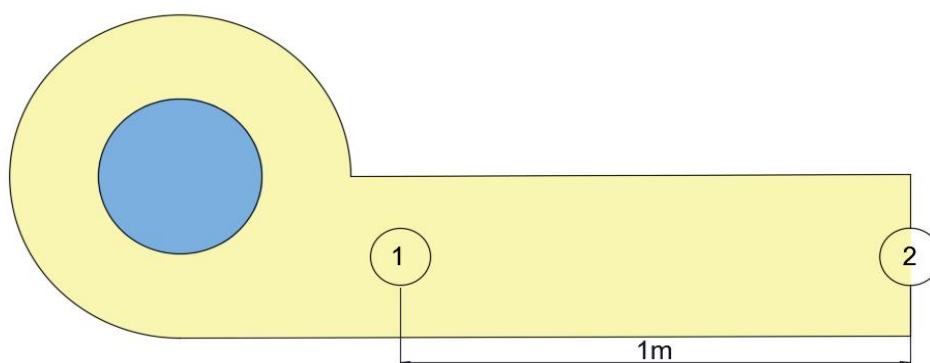
Para realizar una combustión uniforme se requieren de los siguientes datos como es el flujo másico de aire y la velocidad.

$$Caudal = 4,71 \frac{m^3}{s} = 16956 \frac{m^3}{h}$$

$$Velocidad = 1,5 \frac{m}{s}$$

**4.4.1 Balance de energía.** Mediante el balance de energía se determina la presión estática dato que nos permite para la selección del ventilador.

En la siguiente figura se puede observar el tramo del balance que es de 1-2.



**Figura 36-4:** Balance de energía de 1-2

Realizado por: Autores

Mediante la ecuación de Bernoulli se determina la presión estática del ventilador donde se realiza un balance entre los puntos 1 y 2. (SHAMES, 1995)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_V - H_{r1-2} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (99)$$

Donde:

$H_V$  = Presión estática del ventilador [mmcH<sub>2</sub>O]

$H_{r1-2}$  = Pérdidas primarias en el conducto [mmcH<sub>2</sub>O]

Del balance quedaría:

$$H_V = H_{r1-2} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (100)$$

**4.4.2 Pérdidas primarias.** Para conductos rectangulares se utilizan los siguientes diagramas tomando en cuenta que las pérdidas por longitud de conducto en este caso es de 1m.

Las medidas a la entrada de cámara para el conducto es de 80cm de ancho por 40cm de alto, con estas dimensiones se encuentra el diámetro equivalente para conductos rectangulares según el CATÁLOGO SOLER & PALAU.

Se interseca en la curva en un diámetro de 50 cm (Anexo Y), con este dato y el caudal de  $16956 \frac{m^3}{h}$  se ingresa para determinar las pérdidas.

En la gráfica se observa que para conductos rígidos se tiene de 1,1mmcH<sub>2</sub>O/m (Anexo Z), este valor se multiplica por el valor de longitud del conducto.

De esta manera las pérdidas son:

$$H_{r1-2} = 1,1 \frac{mmcH_2O}{m} \times 1m$$

$$H_{r1-2} = 1,1mmcH_2O$$

Donde:

$$P_{aire} = P_{H_2O}$$

$$\rho_{aire} * g * H_{aire} = \rho_{H2O} * g * H_{H2O}$$

$$H_{aire} = \frac{\rho_{H2O} * H_{H2O}}{\rho_{aire}}$$

$$H_{aire} = \frac{\left(1000 \frac{Kg}{m^3}\right) 1,1 mmcH2O (1mca)}{1,14 \frac{Kg}{m^3} (1000 mmcH2O)}$$

$$H_{r1-2} = 0,96 mca$$

$$H_V = 0,96 mca + \frac{(1,5 \frac{m}{s})^2}{2(9,8 \frac{m}{s^2})}$$

$$H_V = 1,07 mca (1,14)$$

$$H_V = 1,22 mmcH2O$$

Con los siguientes datos se selecciona el ventilador:

$$Q = 16956 \frac{m^3}{h}$$

$$H_v = 1,22 mmcH2O$$

Como se tiene una presión estática baja se selecciona con el catálogo de baja presión, mediante el diagrama que se indica CATÁLOGO SODECA (Anexo AA).

Mediante la curva que se interseca se determina las siguientes características del ventilador:

Modelo: CBX-4747 con álabes hacia adelante

Caudal:  $16956 \frac{m^3}{h}$

Potencia: 2,1 KW

RPM: 450

74 dB

Para el modelo 4747 los requerimientos técnicos se indican en el Anexo BB, las dimensiones respectivas del ventilador se detallan en el Anexo CC.

Con la ecuación del sistema y la curva del ventilador se intersecan para determina el punto de operación del ventilador.

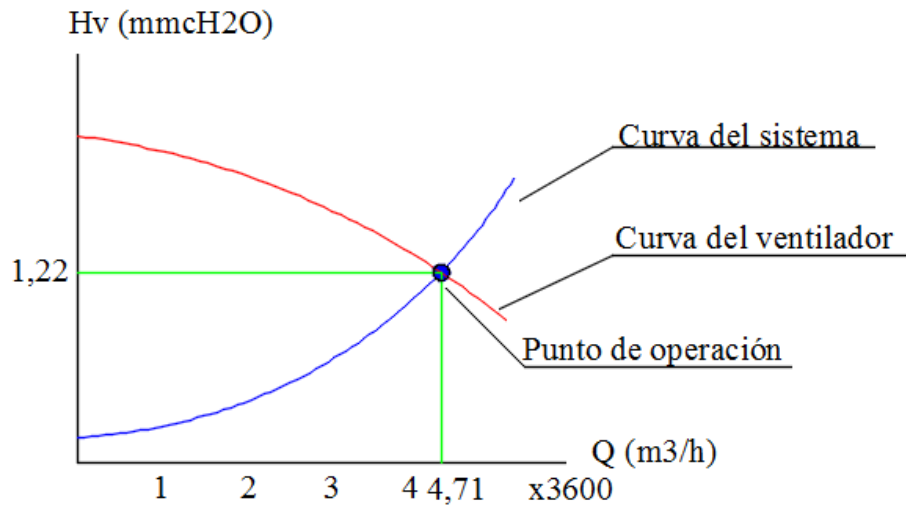
La ecuación del sistema es la siguiente:



$$H_V = 0,96 + \frac{Q^2}{A^2(2g)}$$

$$H_V = (0,96 + 5,17 \times 10^{-3} Q^2) (1,14) [\text{mmcH}_2\text{O}]$$

La gráfica indica el punto de operación del ventilador.



**Gráfico 8-4:** Curva característica del ventilador

Realizado por: Autores

#### 4.5 Diseño del circuito eléctrico

Para realizar el funcionamiento de la máquina secadora automática para cacao el diseño consta de un circuito de potencia y control.

De acuerdo a los requerimientos se selecciona los siguientes elementos como se observa en la posterior tabla.

**Tabla 20-4: Elementos eléctricos**

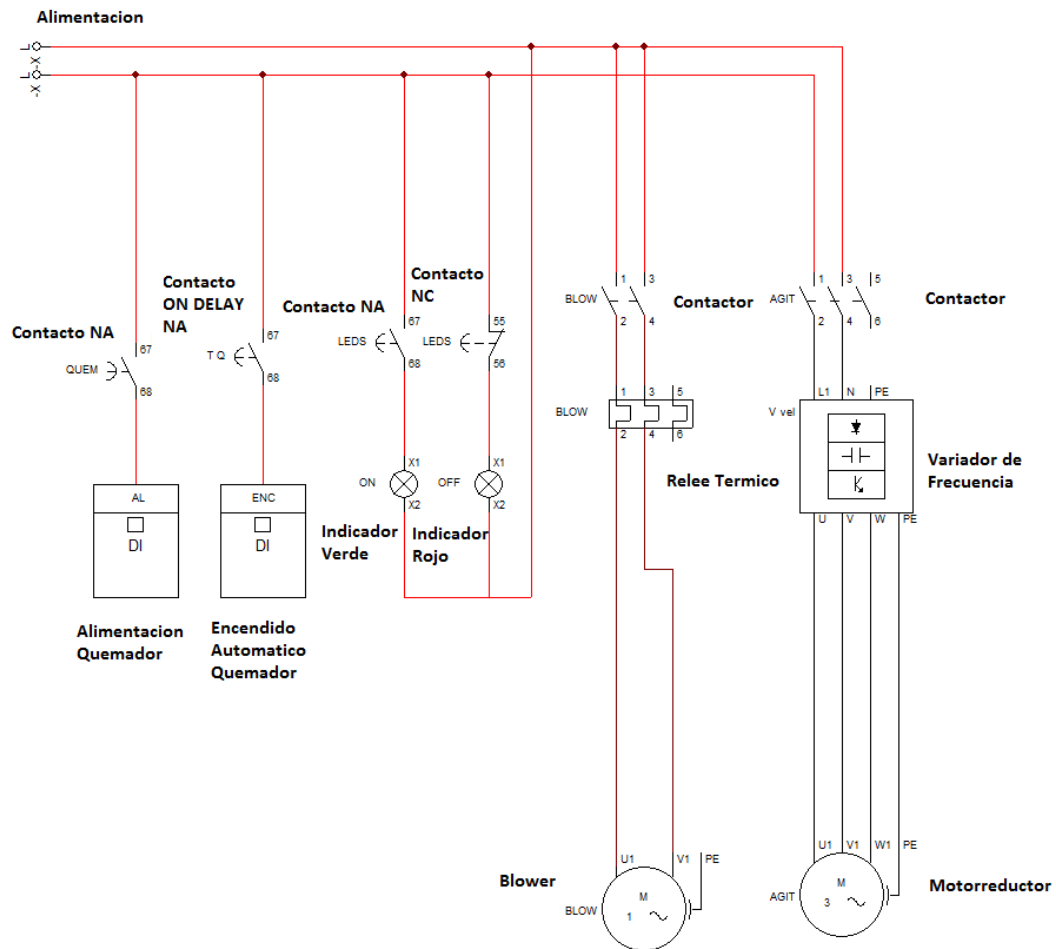
<b>Cantidad</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
1	26746	Control temperatura digital 72x72 1200°C 110 – 220V
1	26746	Control de humedad
1	15922	Variador de frecuencia 5 HP POWTRAN
1	18872	Breaker EASY9 MCB 6000A 230V 3P 25A
1	11560	Selector CSC 22mm 2 POS negro 1 No
1	17164	Pulsador CSC 22mm HONGO 40/GIRO rojo
1	11829	Pulsador CSC 22mm verde 1 No
1	23740	Breaker R/DIN 3P 6A
1	17113	Contactador serie GMC 9 2HP 25KW 220V
1	17970	Relé térmico diferencial GTK-22; 2,5-4,0
3	18889	Luz piloto led 2200 VAC verde, rojo, amarillo
100	11336	Cable incable flexible automotriz 18 rojo
1	26682	Bloque de distribución tetrapolar 4
100	24031	Terminal puntera amarillo
1	16295	Canaletas 3CAGR40X4040 X 40 color gris
1	10255	Riel DIN longitud 1 metro
3	11557	Base para relay MY-2, 8PIN planos pequeño
3	13453	Relay CSC8 pines planos 220VAC/5A
10	13901	Cable concéntrico sucre flexible 4x12
15	19310	Cable incable concéntrico 4x16
1	18009	Breaker EASY9 MCB 6000 A 230V 3P 40A
1	14746	Perilla capuchón multivuelta 10K
1	19113	Potenciómetro lineal 10 KOHM
1	19041	Termocupla tipo J, bulbo largo 10CM
2	10465	Cable termocupla C105/6/7
15	15778	Cable siliconada alta temperatura, 14AW
1		PLC SIEMENS
1	15710	Gabinete metálico liviano 600x400

Realizado por: Autores

Una vez seleccionado los elementos que compone el circuito eléctrico, se realiza los diagramas respectivos de instalación y funcionamiento tanto de potencia como de control.

Los circuitos de potencia y control se diseñan mediante el software CADE SIMU, el cual permite realizar la simulación antes de realizar la conexión.

**4.5.1 Circuito de potencia.** Permite el paso de la corriente para el encendido del variador de frecuencia, motorreductor, blower y el quemador.

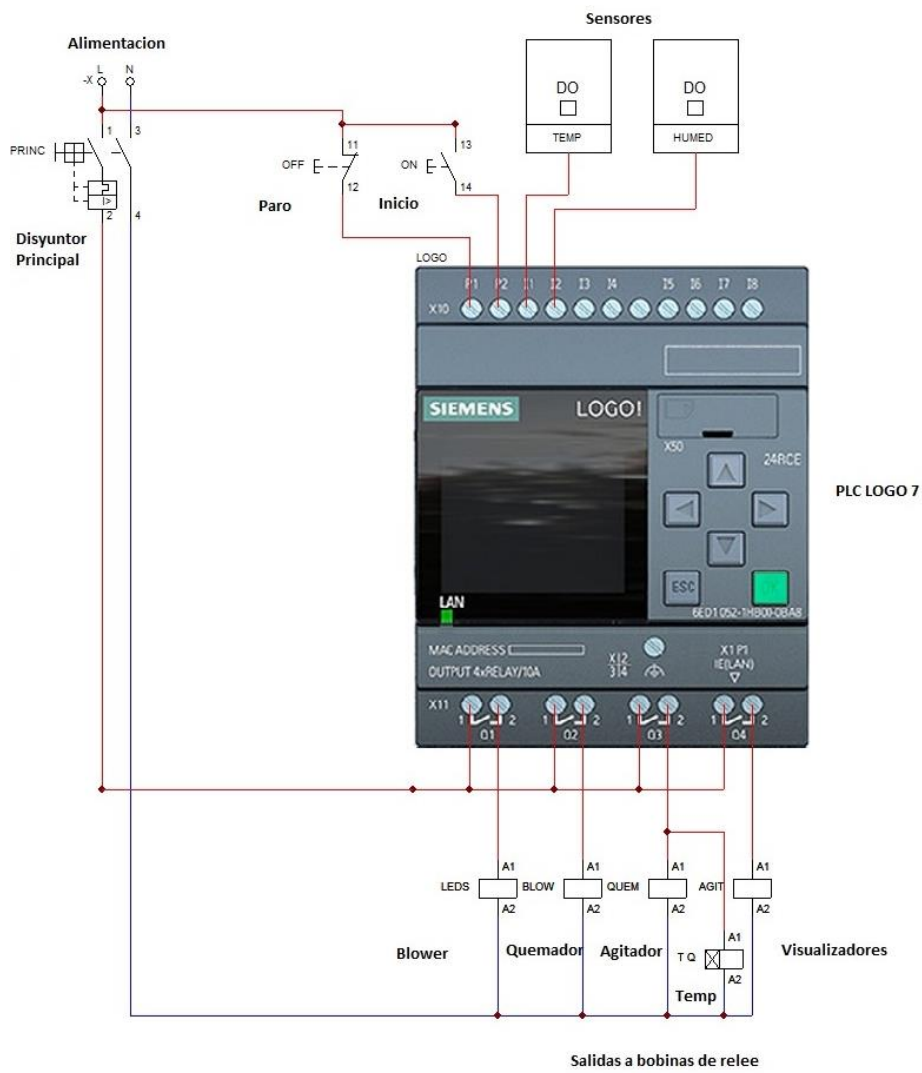


### Circuito de Potencia

Figura 37-4: Circuito de potencia

Realizado por: Autores

**4.5.2 Circuito de control.** El circuito de control realiza la función de controlar las entradas y salidas del sistema mediante el PLC.



### Circuito de Control

Figura 38-4: Circuito de control

Realizado por: Autores

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA SECADORA AUTOMÁTICA PARA CACAO**

#### **5.1 Construcción**

La construcción de la máquina se realiza en base a lo establecido por la norma: EN 1672-2:1997 en lo que se refiere a maquinaria para el proceso de alimentos y la EN ISO 14159:2002 (E) para seguridad de las máquinas.

En el proceso de construcción, montaje y pruebas de funcionamiento de la máquina secadora para cacao se emplearon las siguientes máquinas y herramientas necesarias para su construcción.

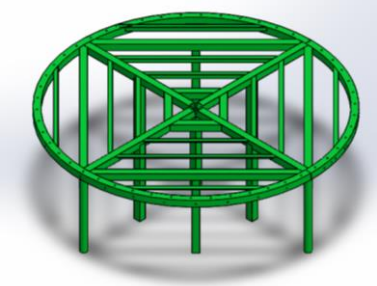
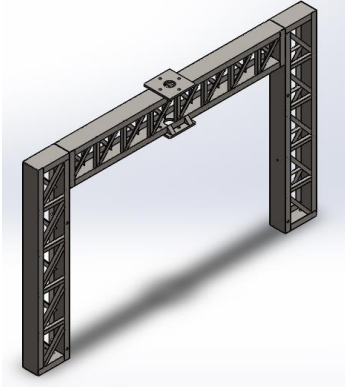
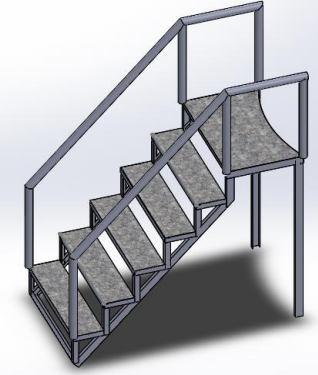
- Soldadura de arco
- Cortadora plasma
- Soldadura TIG
- Soldadura MIC
- Torno
- Baroladora
- Dobladora manual
- Prensa de banco
- Cierra de cinta
- Plegadora manual
- Taladro de pedestal
- Flexómetro
- Calibrador pie de rey
- Taladro de mano
- Escuadra
- Pulidora
- Amoladora
- Brocas

- Martillo
- Llaves
- Destornilladores
- Limatón

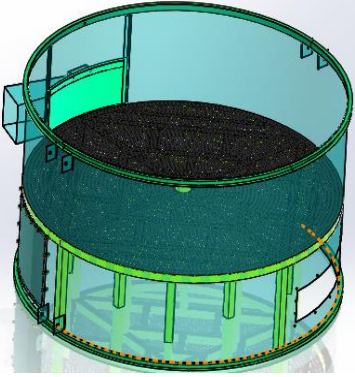
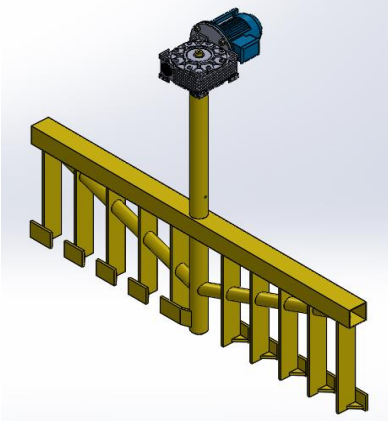
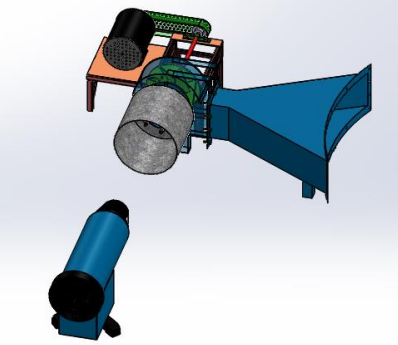
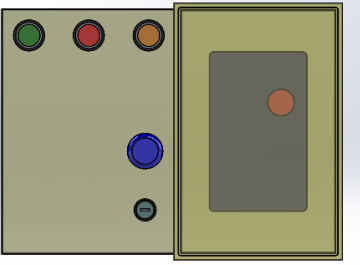
**5.1.1 Componentes de la máquina y tecnología de construcción.** Para la construcción se ha dividido en sistemas que nos facilita y se logra mayor eficiencia en la construcción.

La máquina secadora automática para cacao se divide en 5 sistemas como se especifica en la tabla.

**Tabla 1-5:** Sistemas de la máquina secadora automática para cacao

SISTEMAS		ESQUEMAS
Sistema estructural	Soporte base	
	Soporte pórtico	
	Escalera	

**Tabla 1-5:** (Continua) Sistemas de la máquina secadora automática para cacao

<p>Sistema de alimentación, contenedor del producto y vaciado</p>	
<p>Sistema motriz</p>	
<p>Sistema de secado</p>	
<p>Sistema eléctrico</p>	

Realizado por: Autores

## 5.2 Procedimiento de construcción

**5.2.1 Elementos de construcción.** En la posterior tabla se representan cada una de las partes que compone la máquina secadora automática para cacao con su respectivo material.

**Tabla 2-5:** Partes constructivas de la máquina secadora automática para cacao

SISTEMAS		ELEMETOS	CANTIDAD	MATERIAL/MODELO
Sistema estructural	Soporte base	Perfil cuadrado 50x2	3	Acero estructural A500
		Perfil angular 30x30x3	3	Acero estructural A36
	Soporte pórtico	Perfil canal 150x50x3	3	Acero estructural A36
		Perfil angular 30x30x3	3	Acero estructural A36
	Escalera	Perfil canal 200x50x3	1	Acero estructural A36
		Perfil cuadrado 50x50x3	2	Acero estructural A500
		Tubo redondo	2	Acero estructural A513 (2,5 pulg)
Sistema de alimentación, contenedor del producto y vaciado		Cubierta del contenedor	3	Plancha acero inoxidable AISI 304 (3mm)
		Sujeción del contenedor	2	Perfil canal acero estructural (40x25x2)
		Tamiz	2	Plancha acero inoxidable perforado AISI 304 (2mm)
		Compuerta vaciado	1	Plancha acero inoxidable AISI 304 (3mm)
Sistema Removedor		Tubo cuadrado	1	Plancha acero inoxidable AISI 304 (3mm)
		Removedores	3	Platina acero inoxidable AISI 304 (50x12 mm)
		Tubo redondo	1	Acero inoxidable AISI 304 (2,5 pulg)



**Tabla 2-5:** (Continua) Partes constructivas de la máquina secadora automática

Sistema motriz	Eje	1	Acero inoxidable AISI 304 (3pulg)
	Placa soporte chumacera	2	Acero estructural (12mm)
	Chumaceras de pared	2	Normalizado
	Motorreductor	1	Normalizado
	Variador	1	Normalizado
Sistema de secado	Ducto para entrada de aire caliente	1	Plancha acero galvanizado (2mm)
	Ventilador	1	Ventilador centrífugo CBX-4747
	Quemador	1	Quemador industrial MB-30
	Combustible	6	GLP
Sistema eléctrico	Circuito de potencia	1	Diseño, selección
	Circuito de control	1	Diseño, selección
	Gabinete modular	1	Normalizado
	Caja de control	1	Normalizado
	Motorreductor	1	ABB

Realizado por: Autores

**5.2.2 Tiempos de construcción de la máquina.** En la posterior tabla se presenta los tiempos de construcción de la máquina secadora automática para cacao.

**Tabla 3-5:** Tiempos en la construcción de la secadora automática para cacao

SISTEMAS	ELEMENTOS	OPERACIONES	TIEMPO (DÍAS)
Sistema estructural	Soporte base	Toma de medidas	½ día
		Corte	1 día
		Trazado	½ día
		Soldadura	1 día
		Pulido	½ día
		Montaje	¼ día
		Toma de medidas	½ día

**Tabla 3-5:** (Continua) Tiempos en la construcción de la secadora automática

	Soporte pórtico	Corte	1 día
		Trazado	½ día
		Soldadura	1 día
		Taladrado 12 aguj.	½ día
		Montaje	½ día
	Escalera	Trazado	½ día
		Corte	1 día
		Soldadura	1 día
Montaje		½ día	
Sistema de alimentación, contenedor del producto y vaciado	Cubierta del contenedor	Barolado	3 días
		Soldadura	2 días
		pulido	1 día
	Sujeción del contenedor	Toma de medidas	½ día
		Corte	1 día
		Doblado	1 día
		Soldadura	½ día
	Tamiz	Trazado	½ día
		Corte	1 día
		Soldadura	1 día
		Pulido	½ día
		Montaje	½ día
	Compuerta vaciado	Trazado	¼ día
		Corte	½ día
		Soldadura	½ día
		Montaje	½ día
Sistema Removedor	Tubo cuadrado	Trazado	½ día
		Corte	1 día
		Soldadura	½ día
		Pulido	½ día
		Toma de medidas	½ día

**Tabla 3-5:** (Continua) Tiempos en la construcción de la secadora automática

Sistema motriz	Removedores	Corte 10 removedores	1 día	
		Soldadura	1 día	
		Pulido	1 día	
		Montaje	1 día	
		Tubo redondo	Toma de medidas	½ día
			Corte	½ día
			Soldadura	1 día
			Montaje	1 día
	Eje	Trazado	½ día	
		Corte	1 día	
		Torneado	1 día	
		Chaflanado	½ día	
		Montaje	1 día	
	Placa soporte chumacera	Toma de medidas	½ día	
		Corte 2 placas	½ día	
		Montaje	1 día	
	Chumaceras de pared	Montaje de chumaceras	1 día	
		Lubricación	½ día	
	Caja soporte motorreductor	Toma de medidas	¼ día	
		Corte	¼ día	
		Soldadura	½ día	
		Montaje	¼ día	
	Motorreductor	Montaje	½ día	
	Variador	Montaje	½ día	
	Sistema de secado	Ducto para entrada de aire caliente	Toma de medidas	¼ día
			Corte	¼ día
			Soldadura	½ día
Ventilador		Montaje al ducto de aire	1 día	

**Tabla 3-5:** (Continua) Tiempos en la construcción de la secadora automática

	Quemador	Conexión al ducto	1 día
	Combustible GLP	Acople directo al quemador	¼ día
Sistema eléctrico	Circuito de potencia	Diseño del diagrama de potencia	1 día
		Conexión de la fuente	½ día
		Conexión del contactor	½ día
		Conexión del relé térmico	½ día
	Circuito de control	Diseño del diagrama de control	1 día
		Conexión a la fuente	½ día
		Instalación del pulsador NA	¼ día
		Instalación del pulsador NC	¼ día
		Instalación luz piloto	¼ día
		Conexión al PLC	1 día
		Programación del PLC	1 día
	Gabinete modular	Trazado	½ día
		Taladrado	¼ día
		Remachado	½ día
	Caja de control	Montaje circuito de control y potencia	2 día
	Motorreductor	Conexión a la caja de control	1 día
	Variador	Conexión a la caja de control	1 día
<b>TIEMPO TOTAL (DÍAS)</b>			<b>60 días</b>

Realizado por: Autores

### 5.3 Montaje de la secadora automática para cacao

Para realizar el montaje se dan de acuerdo a los tiempos establecidos por cada uno de los sistemas que contiene la respectiva máquina.

**5.3.1 Montaje del sistema estructural.** En el sistema estructural consta de tres partes como son soporte base, soporte pórtico y escalera.

**Tabla 4-5:** Montaje del sistema estructural

<b>MONTAJE DEL SISTEMA ESTRUCTURAL</b>		
<b>SISTEMAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO (DÍAS)</b>
Soporte base	Transporte de elementos al lugar de trabajo	½ día
	Ensamble de la estructura	1 día
Soporte pórtico	Ensamble de la estructura desmontable	1 día
	Ajuste de pernos	½ día
Escalera	Montaje de la escalera	1 día
<b>SUBTOTAL</b>		<b>4 días</b>

Realizado por: Autores

**5.3.2 Montaje del sistema de alimentación, contenedor del producto y vaciado.** En este sistema se considera un sub ensamble entre los elementos que conforman parte de un solo cuerpo.

**Tabla 5-1:** Montaje del sistema de alimentación, contenedor del producto y vaciado

<b>MONTAJE DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN, CONTENEDOR Y VASEADO</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO (DÍAS)</b>
Traslado de los elementos al lugar de trabajo	¼ día
Barolado del contenedor	2 días
Sujeción del contenedor	1 día
Tamiz	1,75 día
Compuerta vaciado	1 día
<b>SUBTOTAL</b>	<b>6 días</b>

Realizado por: Autores

**5.3.3 Montaje del sistema motriz.** Se toma en cuenta los siguientes elementos para su montaje.

**Tabla 6-5:** Montaje del sistema motriz

<b>MONTAJE DEL SISTEMA MOTRIZ</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO (DÍAS)</b>
Transporte de los elementos al lugar de trabajo	½ día
Montaje sistema removedor	1 día
Montaje eje	1 día
Montaje de placa soporte chumacera	¼ día
Montaje chumaceras de pared	¼ día
Montaje motorreductor	½ día
Montaje variador	¼ día
Ajuste de pernos	¼ día
<b>SUBTOTAL</b>	<b>4 días</b>

Realizado por: Autores

**5.3.4 Montaje del sistema de secado.** La tabla detalla el tiempo de montaje realizado en el sistema.

**Tabla 7-5:** Montaje sistema de secado

<b>MONTAJE DEL SISTEMA DE SECADO</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO (DÍAS)</b>
Transporte de elementos al lugar de trabajo	½ día
Montaje ducto para entrada de aire caliente	1 día
Montaje ventilador	1,5 día
Montaje quemador	½ día
Instalación de combustible GLP	½ día
<b>SUBTOTAL</b>	<b>4 días</b>

Realizado por: Autores

**5.3.5 Montaje del sistema eléctrico.** Se realiza en el tiempo que indica la tabla.

**Tabla 8-5:** Montaje sistema eléctrico

<b>MONTAJE DEL SISTEMA ELÉCTRICO</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO (DÍAS)</b>
Transporte de elementos al lugar de trabajo	½ día
Ensamble circuito de potencia	2 día
Ensamble circuito de control	4 día
Acople del gabinete modular	1 día
Acople caja de control	4 día
Ajuste de elementos de unión	½ día
<b>SUBTOTAL</b>	<b>12 días</b>

Realizado por: Autores

**5.3.6 Tiempo de construcción y montaje de la máquina.** Mediante la tabla se muestra el tiempo total de construcción.

**Tabla 9-5:** Tiempos de construcción y montaje de la máquina

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO (DÍAS)</b>
Tiempo de construcción	60 días
Tiempo de montaje	30 días
<b>TIEMPO TOTAL</b>	<b>90 días</b>

**Realizado por: Autores**

El tiempo total de construcción y montaje de la máquina secadora automática para cacao es de 90 días (3 meses).

#### **5.4 Pruebas de la máquina secadora automática para cacao**

Para la realización del protocolo de pruebas se deben tomar en cuenta ciertas consideraciones como se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 10-5:** Protocolo de pruebas

Tipos	Descripción	
<b>Pruebas preliminares</b>	Establece la viabilidad del principio de funcionamiento	Cualitativo
		Simulaciones virtuales
		Prototipos y pruebas preliminares
<b>Pruebas de durabilidad</b>	Asegura la calidad del producto	Ensayos de fatiga
		Ensayos de desgaste
		Ensayos de corrosión
		Ensayos de maniobras
<b>Pruebas de fabricabilidad</b>	Confirma el funcionamiento adecuado de los procesos de fabricación	Inicio de la preserie
		Dimensión de la preserie
		Homologación y variantes

Fuente: (RIBA ROMEVA, 2002)

**5.4.1 Plan de pruebas de funcionamiento.** El plan de pruebas se aplica con la finalidad de verificar el funcionamiento correcto de la máquina secadora automática para cacao, para de esta manera cumplir con el objetivo planteado, de la misma manera realizar el resultado de las pruebas ya sea en vacío, con carga parcial y a plena carga, para lo cual se espera resultados aceptables.

**5.4.1.1 Pruebas en vacío.** Se verifica las condiciones de trabajo del motorreductor mediante la prueba de arranque.

**Tabla 11-5:** Datos en el arranque sin carga

ARRANQUE EN VACÍO	
Corriente	2,3 A
Velocidad	35 rpm
Voltaje	220 V

Realizado por: Autores

Para el cálculo de la potencia en vacío se emplea la siguiente ecuación:

$$P = V * I * \text{Cos}\phi \quad (101)$$

Donde:

$P$  = Potencia [W]



$V = \text{Voltaje [V]}$

$I = \text{Corriente [A]}$

$\text{Cos}\phi = \text{Factor de potencia}$

$\text{Cos}\phi = 0,8$  con 75% carga (ver Anexo DD)

Al remplazar los valores se determina el consumo de la potencia de la prueba realizada sin carga.

$$P = 220 * 2,3 * 0,8$$

$$P = 404,8 \text{ W} = 0,54 \text{ HP}$$

**5.4.1.2 Pruebas con carga parcial.** Se refiere al movimiento que genera el motorreductor, este a su vez compone del eje y removedores.

La tabla muestra el resultado obtenido con la carga aplicada.

**Tabla 12-5:** Datos obtenidos en el arranque con carga parcial

ARRANQUE CON CARGA PARACIAL	
Corriente	4,2 A
Velocidad	3 rpm
Voltaje	220 V

Realizado por: Autores

Mediante la carga parcial aplicada se tiene la siguiente potencia:

$$P = 220 * 4,2 * 0,8$$

$$P = 739,2 \text{ W} = 0,99 \text{ HP}$$

**5.4.1.3 Pruebas a plena carga.** Para este caso la prueba se realiza con el producto en el contenedor, de esta manera verificar el funcionamiento adecuado de la máquina, el producto seleccionado es el cacao ya que el diseño se realizó para este tipo de producto, la respectiva prueba se realizó con 2 quintales por cuestiones de transporte del producto.

**Tabla 13-5:** Datos obtenidos a plena carga

ARRANQUE A PLENA CARGA	
Corriente	6 A
Velocidad	3 rpm
Voltaje	220 V

Realizado por: Autores

Potencia de consumo:

$$P = 220 * 6 * 0,8$$

$$P = 1056 \text{ W} = 1,42 \text{ HP}$$

**5.4.2 Pruebas mecánicas de la máquina secadora automática para cacao.** Las pruebas mecánicas consisten en verificar el calentamiento en los elementos que compone la máquina, como también los ruidos generados.

Una vez que se realizó las pruebas a plena carga se observó el funcionamiento y desempeño de los elementos que compone la máquina secadora automática para cacao.

En la posterior tabla se indican los resultados de las pruebas realizadas con las respectivas observaciones a cada elemento analizado.

La evaluación se realiza de forma continua para de esta manera evitar problemas de funcionamiento y paros imprevistos de la máquina.

**Tabla 14-5:** Pruebas mecánicas

Elementos	Ruidos	Calentamiento	Ningún problema	Observaciones
Motorreductor			X	
Eje			X	
Chumaceras			X	
Ventilador	X			Presenta un ruido por el flujo que se requiere
Quemador	X			Genera ruido por la llama
Removedores			X	
Tamiz			X	
Pernos			X	

Fuente: (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

**5.4.3 Pruebas de secado de cacao con carga.** Después de un proceso de fermentación del cacao que es de dos a tres días el resultado queda con un porcentaje de humedad entre 55 – 60 %, para así ser llevados a la máquina secadora automática.



**Figura 1-5:** Muestra del cacao fermentado

Realizado por: Autores

Una vez realizado las pruebas de secado en la respectiva máquina el cual fue de 4 horas, su resultado final se puede apreciar en la figura.



**Figura 2-5:** Resultado del cacao seco

Realizado por: Autores

Conserva el sabor y aroma, su color es café claro lo que se busca en el proceso para así satisfacer la necesidad del cliente.

Para determinar qué porcentaje de humedad se consiguió en el secado, la verificación del porcentaje de humedad se realizó en el laboratorio de procesos industriales ESPOCH, el proceso se hizo con la muestra de 1 kg mediante el equipo secador de lecho fluidizado, para la obtención de los resultados se elaboró un informe de acuerdo al formato establecido en el laboratorio (ver Anexo EE).



**Figura 3-5:** Secador de lecho fluidizado

Realizado por: Autores

Se tomaron tres datos del resultado cada 5 minutos para ver que porcentaje de humedad se consiguió en nuestro secador de tipo rotatorio.

**Tabla 15-5:** Resultado del porcentaje de humedad del cacao

Tiempo (mín.)	Humedad (%)	Temperatura (°C)
0	9,4	43,5
5	9,2	43,8
10	9,1	44,1

Realizado por: Autores

El resultado final de porcentaje de humedad como se puede apreciar en la tabla es del 9 % con una temperatura promedio entre 43 – 44°C, lo que resulta que la máquina secadora automática para cacao para determinar este porcentaje de humedad tiene que estar en el proceso de secado entre 4 a 5 horas.

En el proceso de secado se presenta una tolerancia de  $\pm 1$  % en lo que se refiere a la humedad, en este caso lo óptimo sería de 8 %, el proceso podría continuar con la finalidad

de disminuir el margen de humedad que existe, con los resultados obtenidos en la máquina y al ser comprobados en el laboratorio se ha logrado un secado adecuado.

Para las pruebas de secado se consideró 2 quintales, al final del secado por la pérdida de humedad disminuye el peso, en este caso la mitad el cual se presenta en la posterior tabla.

**Tabla 16-5:** Resultado inicial y final de humedad del cacao

Peso inicial (lb)	Peso final (lb)	Humedad inicial (%)	Humedad final (%)
200	100	55 - 60	9

Realizado por: Autores

Para visualizar el comportamiento de la curva de secado del cacao humedad, temperatura en función del tiempo se realiza con granos de cacao que no estén secos totalmente en este caso esta con un grado de fermentación del 35, 6 % de humedad y se lo secará hasta conseguir un porcentaje adecuado entre 9 al 10 % en el respectivo secador de lecho fluidizado para lo cual se toman datos cada 10 minutos.

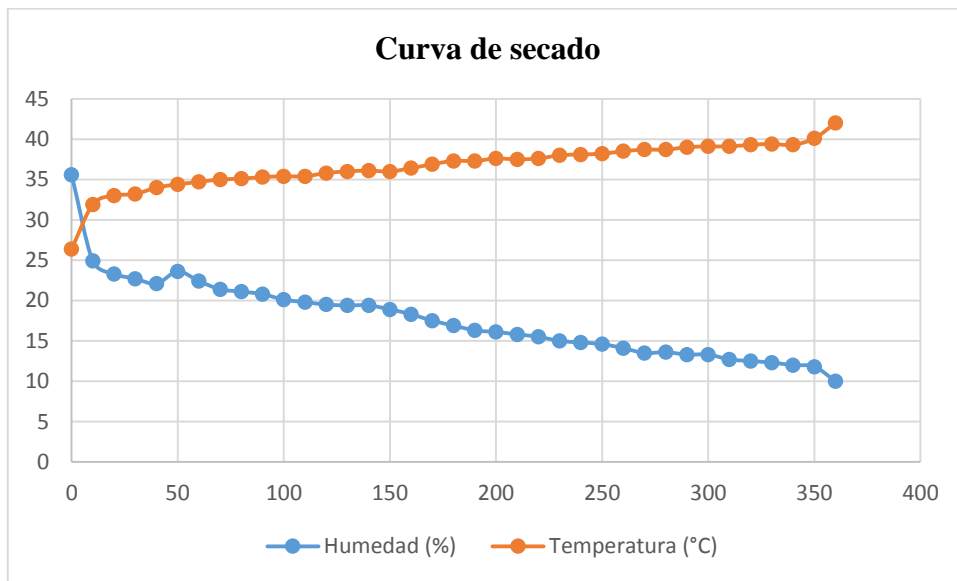
**Tabla 17-5:** Datos de humedad y temperatura en la prueba de secado

Tiempo (min)	Humedad (%)	Temperatura (°C)
0	35,6	26,4
10	24,9	31,9
20	23,3	33
30	22,7	33,2
40	22,1	34
50	23,6	34,4
60	22,4	34,7
70	21,4	35
80	21,1	35,1
90	20,8	35,3
100	20,1	35,4
110	19,8	35,4
120	19,5	35,8
130	19,4	36
140	19,4	36,1
150	18,9	36
160	18,3	36,4
170	17,5	36,9
180	16,9	37,3
190	16,3	37,3

**Tabla 17-5:** (Continua) Datos de humedad y temperatura en la prueba de secado

200	16,1	37,6
210	15,8	37,5
220	15,5	37,6
230	15	38
240	14,8	38,1
250	14,6	38,2
260	14,1	38,5
270	13,5	38,7
280	13,6	38,7
290	13,3	39
300	13,3	39,1
310	12,7	39,1
320	12,5	39,3
330	12,3	39,4
340	12	39,3
350	11,8	40,1
360	10	42

Realizado por: Autores



**Gráfico 1-5:** Curva de secado del cacao

Realizado por: Autores

Los datos se tomaron por un periodo de seis horas hasta conseguir al porcentaje de humedad aproximado del 9 al 10 % lo que se consiguió en la secadora automática.

**5.4.3.1 Pruebas de calidad del cacao.** Una vez realizadas las pruebas de secado en el tiempo establecido se toman dos muestras del producto, el cual se realiza un corte longitudinal para visualizar la parte interna del grano que este en óptimas condiciones de secado y buena calidad.



**Figura 4-1:** Resultado final del proceso de secado

Realizado por: Autores

**5.4.3.2 Comparación de secado con la máquina artesanal.** Se realiza una comparación entre las dos máquinas la automática con la artesanal para ver cual resulta más eficiente.

Se evalúa para la misma capacidad de secado, la máquina artesanal en este caso para remover el grano se lo hace de forma manual, no consta con un sistema removedor el cual lleva mayor mano de obra y tiempo de secado y no cuenta con un control de temperatura ni humedad.

En la posterior tabla se presenta la comparación de parámetros considerados entre las dos máquinas.

**Tabla 18-5:** Comparación de parámetros

Parámetros	Máquina artesanal	Máquina automática
Eficiencia	Bajo	Alto
Volumen de producción	Medio	Alto
Tiempo de secado 750 kg	6-8 horas	4 – 5 horas
Mano de obra	Alto	Bajo

Realizado por: Autores



## 5.5 Verificación de los requerimientos

Para la selección de la alternativa se considera el criterio del auspiciante, mediante el cual da los requerimientos que se necesita para el diseño de la máquina mientras que el ingeniero lo traduce a criterios técnicos. Una vez realizada la construcción de la máquina y realizado las respectivas pruebas es necesario determinar si se ha cumplido con lo establecido por parte del auspiciante como del ingeniero. (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

**5.5.1 Verificación de los requerimientos del usuario (voz del usuario).** Las consideraciones tomadas por parte del usuario se verifican con lo establecido en la tabla.

**Tabla 19-5:** Verificación de los requerimientos del usuario

Requerimientos del usuario	Cumple	No cumple
Secado adecuado del cacao	X	
Fácil operación	X	
Que funcione con energía eléctrica	X	
Capacidad 500 Kg	X	
Fácil mantenimiento	X	
Alimentación manual	X	
Conservación de las propiedades del cacao	X	
Rapidez de secado	X	
Costo de la máquina	X	
Máquina ligera de peso	X	
Funcionamiento silencioso		X

Fuente: (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

**5.5.2 Verificación del criterio del ingeniero (voz del ingeniero).** Los resultados obtenidos se detallan en la posterior tabla.

**Tabla 20-5:** Verificación de la voz del Ingeniero

Voz del ingeniero	Cumple	No cumple	Observaciones
Nivel de automatización	X		
Consumo de energía	X		
Materiales	X		
Dimensiones del equipo	X		
Intercambiabilidad de elementos	X		
Ergonomía	X		
Secado uniforme	X		
Consumo de combustible	X		
Volumen de producción	X		La máxima capacidad de trabajo de la máquina es de 750 Kg
Nivel de transferencia de calor	X		
Velocidad de aire	X		La velocidad de aire para el proceso de secado es de 1,5 m/s
Control de temperatura	X		

Fuente: (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

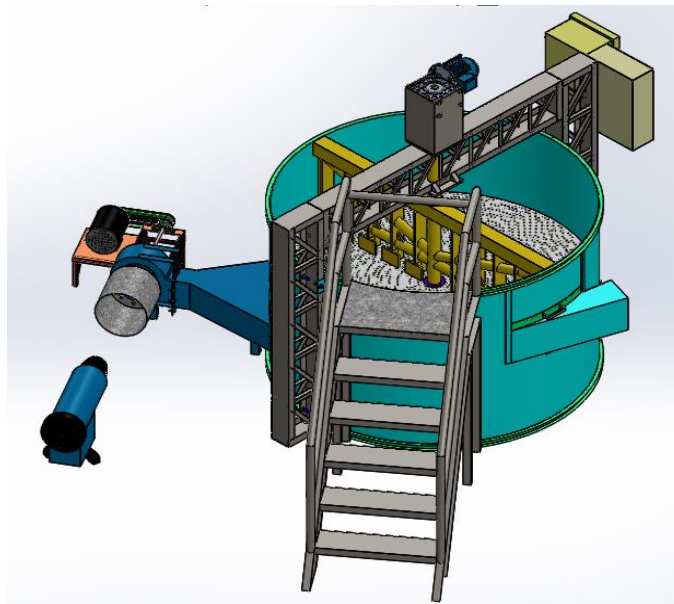
## CAPÍTULO VI

### 6. MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS

#### 6.1 Manual de operación

El siguiente manual detalla las precauciones, operación, mantenimiento, puesta en marcha, solución de problemas es muy necesario para la persona que lo va manipular el equipo.

**6.1.1 Vista general del equipo.** En la figura se indica la vista general de los elementos que compone la máquina secadora automática para cacao.



**Figura 1-6:** Máquina secadora de cacao automática

Realizado por: Autores

**6.1.2 Accesorios del equipo.** Aquí se detallan el funcionamiento de los elementos que compone la máquina, así como la facilidad de realizar el mantenimiento.

**6.1.2.1 Sistema removedor.** Es un elemento que sirve para remover el grano como también para expulsar, está construido en acero inoxidable AISI 304.



**Figura 2-6:** Sistema removedor

Realizado por: Autores

Para la rotación del eje las chumaceras deben estar lubricadas y no sufran daños al momento de realizar el proceso, se realiza un mantenimiento preventivo para así evitar daños en la máquina.

**6.1.2.2 Caja de control.** Esta se encarga del encendido, apagado, control de temperatura, velocidad de los removedores, control del ventilador y del quemador, en la tabla se observa de los elementos que compone el tablero de control.



**Figura 3-6:** Tablero de control

Realizado por: Autores

## 6.2 Características de la máquina secadora automática para cacao

En la tabla se indican las características que presenta la máquina.

**Tabla 1-6:** Características generales de la máquina

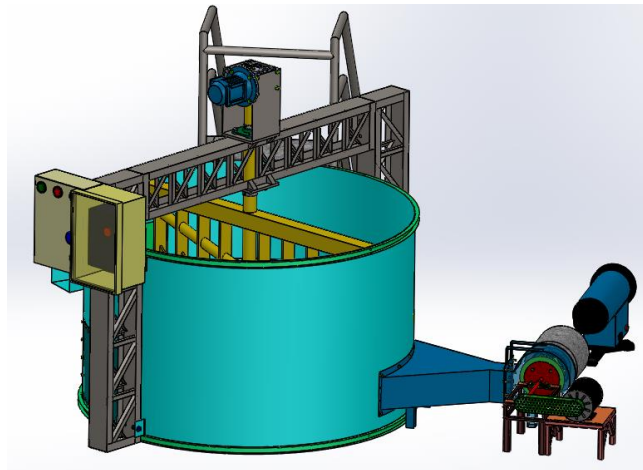
<b>Máquina secadora automática para cacao</b>	
<b>Características generales</b>	Dimensiones generales: Alto (caja de control) = 1,10 m Alto para la alimentación de cacao = 1,22m Diámetro del contenedor = 2m Altura del contenedor = 1,22 m
	Capacidad de secado = hasta 750 Kg
	Material de construcción Acero inoxidable AISI 304, acero estructural A36
	Motorreductor trifásico de 3 HP, 220 V
	Peso total de la máquina 865,52 Kg
	Tamiz: Plancha perforada de acero inoxidable AISI 304

Realizado por: Autores

### 6.3 Instalación del equipo

Para el proceso de trabajo es importante la ubicación en un lugar adecuado, para lo cual se recomienda:

- Colocar la máquina en una superficie a nivel sobre una superficie de concreto el cual da mayor facilidad de trabajo, para fijar el soporte de la estructura pórtico se necesita de una placa base sobre el concreto.



**Figura 4-6:** Instalación de la máquina sobre la base de concreto

Realizado por: Autores

- Conectar el equipo a la línea de corriente eléctrica aplicada para su proceso.

**6.3.1 Requisitos necesarios.** Para el proceso adecuado se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Fuente eléctrica de 220 V, monofásica.
- Piso de concreto liso.

### 6.4 Instrucciones de operación




En esta fase se dan a conocer el modo de operación de la máquina para que el operario no tenga ningún problema al momento de utilizar.

**6.4.1 Puesta en marcha.** Para la puesta en marcha de la respectiva máquina a la obtención del cacao seco el procedimiento a seguir se especifica en la respectiva tabla.

**Tabla 2-6:** Puesta en marcha

<p>1. Conexión del equipo a la corriente eléctrica 220 V.</p>	
<p>2. Almacenar el cacao fermentado en el contenedor</p>	
<p>3. Activar el pulsador de color verde para encender el equipo.</p>	
<p>4. Enciende el ventilador y el quemador de forma automática.</p>	
<p>5. Después de 5 min enciende el motorreductor de manera automática, el sistema removedor gira a 3 rpm, se puede controlar la velocidad por medio del variador.</p>	

**Tabla 2-6:** (Continua) Puesta en marcha

<p>6. Llega a una temperatura y la humedad adecuada del secado, se apaga el quemador de forma automática, permanece encendido el ventilador y el motorreductor.</p>	
<p>7. Se realiza el vaciado, con la ayuda de los removedores, expulsa el cacao por la compuerta y son almacenados directamente en sacos.</p>	
<p>8. Si el equipo termina el proceso al final se apaga el ventilador y el motorreductor.</p>	

Realizado por: Autores

*Nota.* Al inicio del proceso el cacao seleccionado debe estar fermentado para obtener un secado uniforme de calidad, deleitando de buen sabor y aroma.

**6.4.2 Limpieza del equipo.** Después del proceso de obtención del cacao seco es necesario realizar la respectiva limpieza del equipo para ello se realiza el siguiente procedimiento como se lo representa en la posterior tabla.



**Tabla 3-6: Limpieza del equipo**

<p>1. Presionar el pulsador de color rojo para apagar el equipo.</p>	
<p>2. Desconectar el equipo de la corriente eléctrica.</p>	
<p>3. Esperar un lapso de tiempo hasta que se enfríe el equipo por el calentamiento que presenta durante el proceso.</p>	
<p>4. Limpiar el tamiz, la pasta de color café del cacao que se adhiere durante el secado.</p>	
<p>5. Limpiar la parte interna de la cámara de secado, los residuos que pasan por el tamiz mediante la compuerta.</p>	

Realizado por: Autores

*Nota.* Durante la limpieza asegurar que los elementos no estén con recalentamiento ya que puede ocasionar daños al operario.

## 6.5 Manual de Mantenimiento

La máquina secadora automática para cacao requiere de un manual de mantenimiento para prevenir daños en la máquina, de esta manera reducir paros en la producción.

El presente formato consta de los procedimientos básicos para que el equipo se mantenga en condiciones óptimas y su funcionamiento sea correcto.

En la presente tabla se indica el control y revisiones que se deben realizar a los elementos que compone la máquina secadora automática para cacao.

**Tabla 4-6:** Manual de mantenimiento de la máquina

Periodos de trabajo	Elementos principales						Trabajos a realizar
	Motorreductor	Chumaceras	Quegador	Ventilador	Removedores	Tamiz	
D					X	X	Limpiar
M		X					Aplicar lubricante
						X	Verificar que no exista el rozamiento entre los removedores
T		X					Revisar que no exista daños en el rodamiento
				X			Limpieza del rodete
					X		Alineación del sistema removedor
			X				Verificar la combustión
A	X						Reparar si presenta calentamiento excesivo
		X					Cambiar los rodamientos si presenta daños continuos
				X			Reparar el motor si presenta calentamiento excesivo
			X				Corregir el daño si presenta mala generación de llama

Realizado por: Autores

Donde:

D = Diario

M = Mensual

T = Trimestral

A = Anual

## **6.6 Riesgos y medidas preventivas**

Es importante conocer los riesgos que genera para la persona que opere la máquina no sufra ningún daño.

Se debe tomar de ciertas recomendaciones para prevenir los riesgos que ocasionan en el proceso de trabajo que realiza la máquina.

**6.6.1 Riesgos ergonómicos.** Se da por la mala ubicación donde se requiere esfuerzo físico de la persona.

En el caso de la máquina secadora automática para cacao este riesgo se presenta al momento de subir por la escalera con el saco de cacao para la alimentación en el contenedor, para evitar esto se recomienda:

- Ubicación correcta al momento de cargar el saco para evitar lesiones.
- Mantener el cuerpo al frente de la carga al momento de levantar.
- Colocar la materia prima lo más cercano para reducir esfuerzos.

**6.6.2 Riesgos de quemaduras.** El contacto con la cámara de secado en este caso el cilindro donde genera alta temperatura lo cual puede resultar graves lesiones por parte del operador.

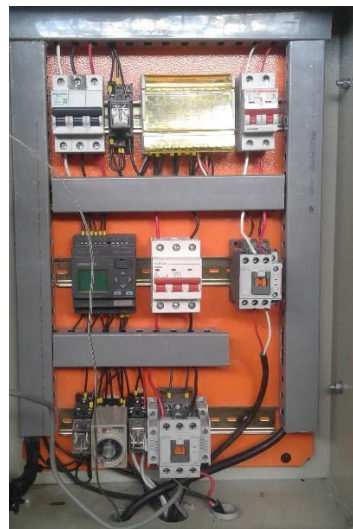
En este caso el riesgo detectado es al momento de vaciar el cacao del cilindro, para lo cual se recomienda:

- Evitar el contacto con el cilindro al momento de retirar el cacao.
- Realizar esto con elementos que permitan mayor facilidad.

**6.6.3 Riesgo eléctrico.** La ocurrencia de contacto sea directo e indirecto en la instalación eléctrica lo cual ocasiona graves lesiones al operario.

Para este caso el riesgo detectado es al momento de manipular la caja de control, para lo cual se recomienda lo siguiente:

- La manipulación de las conexiones internas deben ser realizadas por la persona calificada en el área de control.



**Figura 5-6:** Caja de control

Realizado por: Autores

## 6.7 Análisis de costos para la máquina secadora automática para cacao

Para la validación de costos se ha dividido en los siguientes sistemas como se aprecia en la tabla correspondiente, estos costos a su vez pueden ser directos e indirectos.

**Tabla 5-6:** Partes de la máquina secadora automática para cacao

Núm.	Descripción de la construcción
1	Sistema estructural
2	Sistema de alimentación, contenedor del producto y vaciado
3	Sistema motriz
4	Sistema de secado
5	Sistema eléctrico

Realizado por: Autores

**6.7.1 Costos directos.** Son los que intervienen directamente en la construcción de la máquina secadora automática para cacao como son materiales, equipos, herramientas, mano de obra y transporte. (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

**6.7.1.1 Costo de materiales.** Aquí se da a conocer los materiales que fueron usados en la construcción, sea para la parte mecánica como también para la parte eléctrica.

**Tabla 6-1:** Costo de materiales

Implementos	Unidad	Cantidad	Precio unitario USD	Sub total USD
Plancha de acero inoxidable AISI 304 1220 x 2440 x 3 mm	m <sup>2</sup>	4	239,32	957,28
Plancha de acero inoxidable perforado AISI 304 1220 x 2440 x 2 mm	m <sup>2</sup>	2	295,18	590,36
Platina de acero inoxidable AISI 304 12 X 50 mm	m <sup>2</sup>	3	195,37	586,11
Eje de acero inoxidable AISI 304 Ø 3 in x 1315 mm	Kg	1	350,00	350,00
Tubo de acero inoxidable AISI 304 Ø 2,5 in x 1,5 mm	Kg	1	125,00	125,00
Rodamiento con soporte de pared UCF 215-300D1 Ø 3in	U	2	56,00	112,00
Perfil de acero estructural C40x25x2 mm	Kg	2	16,80	33,60
Tubo cuadrado de acero estructural A500 50x2 mm	Kg	4	19,18	76,72
Perfil de acero estructural A36 C150X50X3	Kg	3	30	90
Perfil angular estructural A36L30X30X3 mm	Kg	7	8,06	56,42
Perno de cabeza hexagonal ASTM 307 M16x2 mm	U	12	1,00	12,00
Motorreductor trifásico ABB 3 HP 1735 rpm, V = 220-230V	U	1	880,00	880,00
Ventilador centrífugo trifásico CBX-4747 0,55 KW, 2800 rpm, V = 220 V	U	1	440,00	440,00
Quemador GLP MB-30 45 KW, 1400 rpm, V = 110 V	U	1	750,00	750,00
PLC SIEMENS	U	1	190,00	190,00
Control temperatura digital 72x72 1200°C 110-220	m	1	37,00	37,00
Control de humedad	m	1	71,42	71,42
Variador de frecuencia 5HP POWTRAN	U	1	379,20	379,20
Breaker EASY9 MCB 6000 A 230V 3P 25 A	U	1	13,13	13,13
Selector CSC 22mm 2 POS negro 1 No	U	1	2,05	2,05

**Tabla 6-6:** (Continua) Costo de materiales

Pulsador CSC 22mm HONGO 40/GIRO rojo	U	1	2,96	2,96
Pulsador CSC 22MM verde 1 No	U	1	1,84	1,84
Breaker R/DIN 3P 6 A	U	1	10,49	10,49
Contactador serie GMC 9 2HP 25KW 220V	U	1	13,10	13,10
Relé térmico diferencial GTK-22; 2,5-4,0	U	1	25,31	25,31
Luz piloto led 2200 VAC verde, rojo, amarillo	U	3	1,39	4,17
Cable incable flexible automotriz 18 rojo	m	100	0,16	16,00
Bloque de distribución tetrapolar 4 líneas	U	1	15,30	15,30
Terminal puntera amarillo	U	100	0,025	2,50
Canaletas 3CAGR40X4040 X 40 color gris	U	1	6,00	6,00
Riel DIN longitud 1 metro	m	1	2,29	2,29
Base para relay MY-2, 8PIN planos pequeño	U	3	2,06	6,18
Relay CSC8 pines planos 220VAC/5 A	U	3	3,17	9,51
Cable concéntrico sucre flexible 4x12	m	12	1,92	23,04
Cable incable concéntrico 4x16	U	15	0,94	14,10
Breaker EASY9 MCB 6000 A 230V 3P 40 A	U	1	13,13	13,13
Perilla capuchón multivuelta 10K	U	1	43,69	43,69
Potenciómetro lineal 10 KOHM	U	1	43,69	43,69
Termocupla tipo J, bulbo largo 10CM	U	1	11,81	11,81
Cable termocupla C105/6/7	m	2	3,26	6,52
Cable siliconada alta temperatura, 14AW	U	15	1,55	23,25
Funda sellada ½ in 100m	U	7	1,50	10,50
Gabinete metálico liviano 600x400	U	1	37,00	37,00
Amarra color negro CSC CH 250X4,8	U	1	4,20	4,20
Timer 1S/10S/60S/10M 24 240 VAC/VDC CAMSCO	U	1	20,59	20,59
Base para relay MK2P-1,8 PIN RED 10 A	U	1	1,39	1,39
Relay encapsulado LY 8 pines planos 2NO-2NC 15 A	U	1	3,17	3,17
Base para relay LY-2,8 PIN planos grandes	U	1	2,32	2,32
Relay encapsulado LY 8PINES PLANAOS 2NO- 2NC 15 A	U	2	3,17	6,34

**Tabla 6-6:** (Continua) Costo de materiales

Base para relay LY-2,8PIN planos grande	U	2	2,32	4,64
Contactor serie GMC 32 10 RP75 KW 220V	U	1	29,64	29,64
<b>Subtotal</b>				<b>6167,00</b>

Realizado por: Autores

**6.7.1.2 Costos de equipos y herramientas.** En la tabla se presentan los equipos y herramientas más utilizados en la construcción.

**Tabla 7-6:** Costos de equipos y herramientas

Descripción	Horas de equipo	Costo/hora USD	Subtotal USD
Soldadura de arco	80	1,75	140,00
Soldadura de alta Frecuencia TIG	50	4,50	225,00
Torno	8	1,50	12,00
Baroladora	10	1,75	17,50
Prensa de banco	6	1,00	6,00
Dobladora manual	8	1,75	14,00
Cierra de cinta	7	1,25	8,75
Flexómetro	30	0,80	24,00
Calibrador pie de rey	9	2,75	24,75
Taladro manual	7	1,50	10,50
Pulidora	10	1,25	12,50
Amoladora	60	1,50	90,00
Esmeril	12	1,25	15,00
<b>Subtotal</b>			<b>600,00</b>

Realizado por: Autores

**6.7.1.3 Costos de la mano de obra.** En los costos de la mano de obra se toma en cuenta según la actividad que realiza el operador dependiendo las horas de trabajo en el taller, los salarios establecidos se detallan en la tabla (ver Anexo FF).

**Tabla 8-6:** Costos de la mano de obra

Actividad	Categoría	Horas trabajo	Salario real/hora USD	Subtotal USD
Tornero	C1	10	3,40	34,00
Soldador especializado	C1	80	3,50	280,00
Ayudantes en general	D2	600	3,40	2040
Electrónico especializado	C1	720	0,55	396,00
<b>Subtotal</b>				<b>2750,00</b>

Realizado por: Autores

**6.7.1.4 Costo por transporte de materiales.** En la construcción de la secadora automática para cacao se estima un costo de transporte de 100 USD.

**6.7.1.5 Costo total directo.** Se suman todos los costos como es los materiales, equipos, mano de obra y se considera también el costo de transporte.

**Tabla 9-6:** Costo total directo

Costos directos	Total USD
Materiales	6167,00
Equipos y herramientas	600,00
Mano de obra	2750
Transporte	100,00
<b>Total costos directos</b>	<b>9617,00</b>

Realizado por: Autores



**6.7.2 Costos indirectos.** Estos a su vez están relacionado con el costo ingenieril, el cual involucra la investigación y diseño de los elementos que compone la máquina.

**Tabla 10-6:** Costos indirectos

Costos ingenieriles	Tiempo (horas)	Costo unitario USD	Costo total USD
Investigación	50	8,00	400,00
Diseño	25	8,00	200,00
<b>Total costos indirectos</b>			<b>600,00</b>

Realizado por: Autores

**6.7.3 Costo total.** Es la suma total de los costos empleados para la construcción de la máquina.

**Tabla 11-6:** Costo total de la máquina

Costos de la máquina	Precio total USD
Directos	9617,00
Indirectos	600,00
<b>Costo total</b>	<b>10217,00</b>

Realizado por: Autores

Se tiene un costo total de la máquina secadora automática para cacao de 10217 USD.

## 6.8 Rentabilidad del equipo

**6.8.1 Depreciación.** Determina la vida útil del equipo. Instalaciones, maquinarias, equipos y muebles 10 % o 10 años. (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

**6.8.1.1 Causas de la depreciación.** Las causas ocasionadas pueden ser por duración física del activo y duración económica del activo.

La duración física del activo incluyen las causas por:

- Desgaste.
- Agotamiento.
- Envejecimiento.

En la parte económica las causas se dan por:

- Envejecimiento técnico.
- Explotación por el tiempo limitado.
- Envejecimiento económico.

**6.8.1.2** *Valor de salvamento.* Es el valor que tendrá la empresa al culminar con el tiempo de vida útil. La vida útil de equipos y maquinaria es de 10 años, para el diseño de la máquina secadora automática para cacao se tomara una vida útil de 8 años aproximadamente. (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

Para el cálculo se emplea la siguiente ecuación.

$$V_{\text{salvamento}} = V_{\text{inicial}} - \frac{V_{\text{inicial}} * n_u}{N} \quad (102)$$

Donde:

$V_{\text{salvamento}}$  = Valor de salvamento [USD].

$V_{\text{inicial}}$  = Valor del costo inicial de la máquina [USD].

$n_u$  = Tiempo de vida útil 8 años.

$N$  = Tiempo de depreciación en 10 años.

Remplazando en la ecuación se tiene:

$$V_{\text{salvamento}} = 10217 - \frac{10217(8)}{10}$$

$$V_{\text{salvamento}} = 2043,4 \text{ USD}$$

**6.8.2** *Cálculo de la depreciación.* Para el cálculo de la depreciación se toma en cuenta lo siguiente:

- Tiempo en años.
- Vida útil.
- Capacidad de producción.

**6.8.3 Métodos de depreciación.** Después de determinar el valor de depreciación se hace el uso de ciertos métodos como se indica a continuación.

**6.8.3.1 Método de la línea recta.** Es un método confiable para este tipo de cálculo para lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$D_{anual} = \frac{V_{inicial} - V_{salvamento}}{N} \quad (103)$$

Donde:

$D_{anual}$  = Depreciación anual [USD].

$V_{inicial}$  = Valor del costo inicial [USD].

$V_{salvamento}$  = Valor de salvamento [USD].

$N$  = Tiempo de depreciación en 10 años.

$$D_{anual} = \frac{(10217 - 2043,4)USD}{10}$$

$$D_{anual} = 817,36 \text{ USD}$$

La máquina se deprecia a 10 años, en la tabla se muestra los siguientes datos anuales de la depreciación.

**Tabla 12-6:** Depreciación anual de la máquina secadora automática para cacao

Año	Depreciación anual USD	Depreciación acumulada USD	Valor anual USD
0	0	0	10217
1	817,36	817,36	9399,64
2	817,36	1634,72	8582,28
3	817,36	2452,08	7764,92
4	817,36	3269,44	6947,56
5	817,36	4086,8	6130,2
6	817,36	4904,16	5312,84
7	817,36	5721,52	4495,48
8	817,36	6538,88	3678,12
9	817,36	7356,24	2860,76
10	817,36	8173,6	2043,4

Realizado por: Autores

**6.8.4 Cálculo de ingresos.** En la producción mensual se considera la siguiente ecuación:

$$P_m = P_t * P_h * D_t \quad (104)$$

Donde:

$P_m$  = Producción mensual.

$P_t$  = Periodo de trabajo 8 h/día.

$P_h$  = Producción 17q/4h (q = quintales).

$D_t$  = Días al mes 30 días.

$$P_m = \frac{8 \text{ h}}{\text{día}} * \frac{17 \text{ q}}{4 \text{ h}} * \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}}$$

$$P_m = \frac{1020 \text{ q}}{\text{mes}}$$

La producción anual del cacao será:

$$P_a = \frac{1020 \text{ q}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$P_a = \frac{12240 \text{ q}}{\text{año}}$$

El costo del quintal seco de cacao en el mercado es de:

$$C_{cacao} = \frac{60 \text{ USD}}{\text{q}}$$

El valor de ingreso anual por la venta de cacao seco es de:

$$I_{cacao} = \frac{734400 \text{ USD}}{\text{año}}$$

**6.8.5 Cálculo de egresos.** Para este cálculo se toma en cuenta los costos de operación, mantenimiento, materia prima, combustible y energía eléctrica.

**6.8.5.1 Costos por operación y mantenimiento.** En la posterior tabla se detallan los implementos que se requiere para el mantenimiento respectivo de la máquina secadora automática para cacao.

**Tabla 13-6:** Costos de operación y mantenimiento de la máquina

Detalle	Cantidad	Costo unitario USD	Total USD
Operador	1	350,00	350,00
Grasa para lubricación de chumaceras	1000 g	10,00/250g	40,00
Materiales de limpieza	3	10,00	30,00
Limpieza del ventilador	1	30,00	30,00
Mantenimiento del motorreductor	1	80,00	80,00
Mantenimiento del quemador	1	60,00	60,00
Alineamiento del sistema removedor	1	50,00	50,00
Mantenimiento de la cámara de secado	1	40,00	40,00
<b>Total del costo mensual</b>			<b>680,00</b>

Realizado por: Autores

El costo total anual de operación y mantenimiento es de 8160 USD.

**6.8.5.2 Costos de materia prima (cacao).** El costo del producto se adquiere húmedo es decir el cacao en baba. El quintal de cacao húmedo está en 57,50 USD.

La producción de cacao mensual es de 1020 q/mes.

El costo del cacao mensual es de:

$$C_{\text{cacao húmedo}} = \frac{58650 \text{ USD}}{\text{mes}}$$

Costo anual del cacao es:

$$C_{\text{cacao húmedo}} = \frac{703800 \text{ USD}}{\text{año}}$$

**6.8.5.3 Costo del combustible.** EL combustible a utilizar es el GLP, el cual consume 12 cilindros por 34 quintales, al mes consumiría 360. El costo del GLP de 15Kg a nivel residencial es de 0,2/ Kg.

El costo del combustible mensual es de:

$$C_{combustible} = \frac{1080 \text{ USD}}{\text{mes}}$$

El costo anual es de:

$$C_{combustible} = \frac{12960 \text{ USD}}{\text{año}}$$

**6.8.5.4 Costo de energía eléctrica consumida.** La máquina consta de un motorreductor de 3 HP, el cual tiene una potencia de 2,2 KW y un motor de 0,55 KW para el ventilador.

El consumo diario se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{diario} = C_{PT} * t \quad (105)$$

Donde:

$C_{diario}$  = Consumo diario [Kwh].

$C_{PT}$  = Consumo de potencia total [KW].

$t$  = Tiempo diario de consumo [horas].

$$C_{diario} = 2,75 \text{ KW} * 8 \text{ horas}$$

$$C_{diario} = 22 \text{ KWh}$$

En el ecuador el costo del KWh a nivel residencial es de 0,08 USD.

Al consumo diario encontrado se multiplica por el costo del KWh y se tiene el costo de:

$$C_{día} = 1,76 \text{ USD}$$

Costo mensual:

Mes = 30 días, entonces se tiene:

$$C_{mensual} = 52,8 \text{ USD}$$

Costo del consumo energético anual:

$$C_{anual} = 633,60 \text{ USD}$$

En la respectiva tabla se muestra el egreso total anual.

**Tabla 14-6:** Egresos anuales

<b>Egresos anuales</b>	<b>Costo USD</b>
Operación y mantenimiento	8160,00
Materia prima	703800
Combustible	12960,00
Energía eléctrica consumida	633,60
<b>Egreso total anual</b>	<b>725553,6</b>

Realizado por: Autores

**6.8.6 Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR).** El TIR analiza la aceptación o rechazo del proyecto, con el TIR alto es más factible y rentable.

El tiempo para evaluar el proyecto se considera  $n = 5$  años

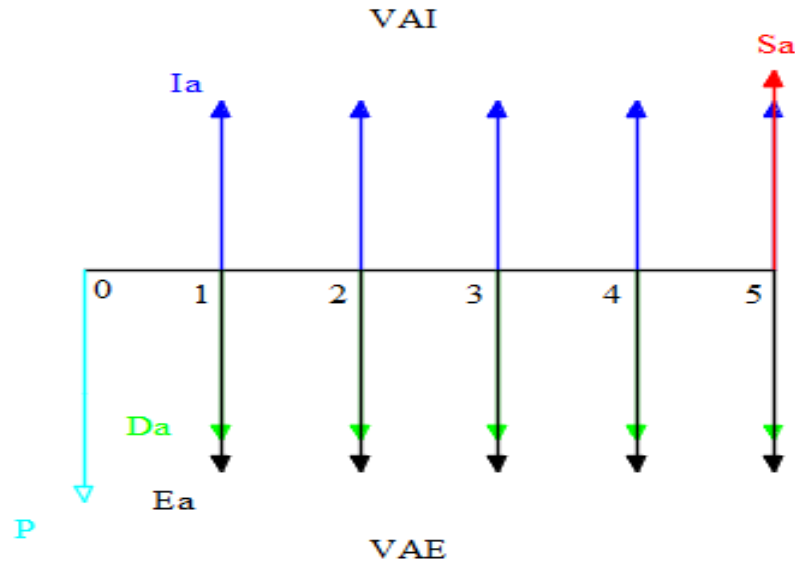
Para su cálculo se consideran los siguientes datos:

**Tabla 15-6:** Datos para evaluación del TIR

<b>Datos</b>	<b>Valor USD</b>
Ia = Ingreso anual	734400
Sa = Salvamento (n=5)	6130,2
P = Inversión inicial	10217
Da = Depreciación anual	817,36
Ea = Egreso anual	725553,6

Fuente: (TIRIRA SUÁREZ, y otros, 2014)

Se estima la evaluación para un periodo de 5 años como se detalla en la figura.



**Gráfico 1-1:** Diagrama de evaluación financiera

Realizado por: Autores

De la figura se determina el valor actual neto (VAN), el cual es necesario para el cálculo del TIR.

$$VAN = VAI - VAE \quad (106)$$

Donde:

$VAI$  = Valor actual de ingresos [USD].

$VAE$  = Valor actual de egresos [USD].

$$VAN = Ia * \frac{P}{A}, i\%, n * + Sa * \frac{P}{F}, i\%, n - P - Da * \frac{P}{A}, i\%, n - Ea * \frac{P}{A}, i\%, n$$

Para determinar la cantidad única, es decir el valor presente  $\frac{P}{F}$  se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{P}{F}, i\%, n = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (107)$$

En la serie uniforme, el valor presente  $\frac{P}{A}$  la formula a utilizar es:



$$\frac{P}{A}, i\%, n = \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n * i} \quad (108)$$

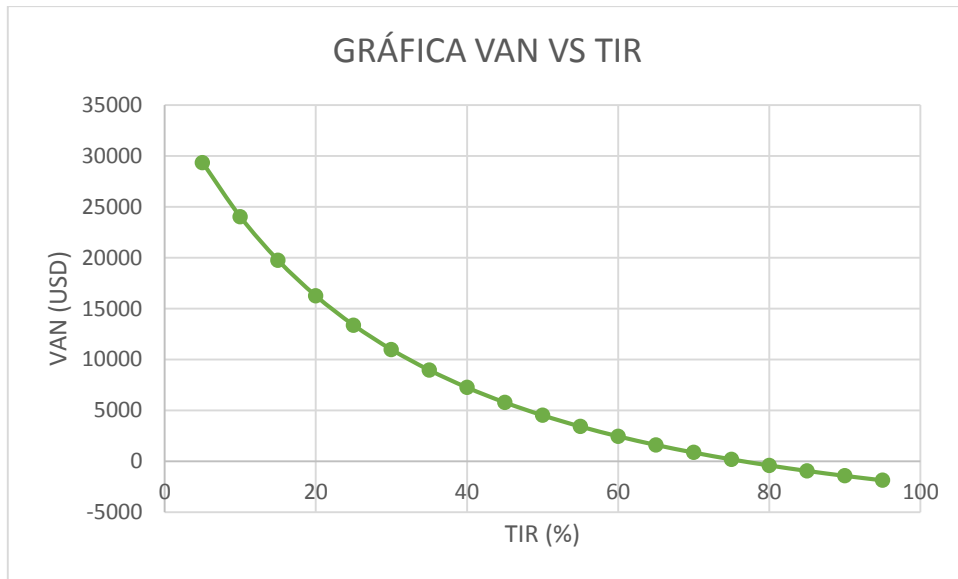
En la tabla se muestra los valores del VAN en función del interés.

**Tabla 16-6:** Valor actual neto para diferentes valores de interés

Interés %	VAN (USD)
5	29347,71347
10	24025,7505
15	19745,38019
20	16258,33439
25	13384,08063
30	10989,32805
35	8974,276432
40	7263,227774
45	5798,072883
50	4533,704856
55	3434,744656
60	2473,173224
65	1626,598524
70	876,9729919
75	209,6342929
80	-387,4192078
85	-924,0808083
90	-1408,560275
95	-1847,71326

Realizado por: Autores

Gráfica del VAN en función del TIR:



**Gráfico 2-6:** Gráfica VAN vs TIR

Realizado por: Autores

Para calcular el TIR se toma valores del VAN (+) y VAN (-) el cual está entre un 75 y 80%, la fórmula a emplearse es la siguiente:

$$TIR = i \% menor + \Delta \% * \frac{VAN (+)}{VAN (+)+VAN(-)} \quad (109)$$

$$TIR = 75 \% + 5 \% * \frac{209,63}{209,63+387,42}$$

$$TIR = 76,76 \%$$

**6.8.7 Análisis de resultados.** Se relaciona la tasa interna de retorno con el interés efectivo que otorga la Corporación Financiera Nacional (CFN).

Para la aceptación del proyecto se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si  $TIR < i \%$  El proyecto no es aceptable.
- Si  $TIR = i \%$  El proyecto no muestra preferencia entre lo uno ni lo otro.
- Si  $TIR > i \%$  El proyecto es aceptable.

La tasa de interés anual por parte de la Corporación Financiera Nacional es el  $i = 12 \%$  para un periodo de 5 años. El resultado obtenido del TIR en el proyecto es de 76,76 %, el cual es mayor al interés efectivo del banco de 12 %, es decir el proyecto es aceptable.

## CAPÍTULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

Mediante las pruebas realizadas la secadora tipo rotatoria cumple con los requerimientos del usuario mejorando la eficiencia y producción en el sector campesino.

Con el estudio bibliográfico realizado se determinó las características del cacao, las máquinas secadoras de cacao que existen al nivel nacional y mundial, como también la metodología de diseño para realizar el proceso de secado.

El resultado obtenido en la secadora después del proceso de secado entre 4 a 5 horas, el cacao quedó con un porcentaje de humedad del 9 % alcanzando una temperatura entre 43 a 44°C, este dato se verificó en el laboratorio de procesos industriales, cumpliendo de esta manera con los estándares de calidad del producto.

Aplicando la metodología de diseño se elaboró la matriz QFD (Casa de la Calidad), cumpliendo la voz del usuario y requerimientos técnicos del ingeniero mediante las pruebas de funcionamiento.

Para el desarrollo de la matriz morfológica se consideró tres alternativas cada una con las soluciones respectivas dando como resultado final la alternativa uno que cumpla con el proceso de secado automático para cacao.

En el diseño de la máquina para la parte mecánica se emplearon fórmulas para el diseño, catálogos para la parte de selección y el uso de software como es el ANSYS para el análisis del sistema removedor y SAP 2000 para analizar la parte estructural de la máquina.

Para realizar el diseño energético se consideró las propiedades del aire en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas lugar donde se va instalar la máquina y con el uso del software Engineering Equation Solver (EES) se determinan las propiedades del aire al inicio y final de secado para su posterior cálculo.

El diseño de detalle se realizó bajo la metodología de diseño teniendo así toda la información del plano para la construcción de la máquina.

La máquina cumplió con las normas sanitarias y estándares de calidad, en lo que se refiere alimentos en nuestro caso por ser un producto alimenticio su construcción se realizó en acero inoxidable AISI 304 la parte que está en contacto con el producto.

El costo total de la máquina es de 10217 USD incluyendo los costos directos e indirectos, para la viabilidad del proyecto se determinó la tasa interna de retorno (TIR) el cual se obtuvo del 76, 76 % que garantiza la construcción de la máquina al usuario.

Las pruebas de funcionamiento se determinó bajo el protocolo de pruebas propuesto por Riba, se realizaron ya sea en vacío y con carga en el que se observó que ningún elemento presento recalentamiento durante el proceso, lo que indica que los respectivos elementos están acoplados correctamente.

La comparación realizada entre la máquina artesanal con la automática resulto más eficiente la automática evaluando el tiempo de secado, mano de obra y volumen de producción.

La secadora automática para cacao cuenta con un variador de frecuencia el cual se puede variar a la velocidad que se requiere para realizar el secado, lo que garantiza mantener las propiedades del producto y rapidez de secado, esto no sucede en una máquina artesanal.

## **7.2 Recomendaciones**

Para realizar el secado del cacao en la respectiva máquina debe tener una fermentación del grano de humedad entre 55 – 60 %, lo que garantiza menor tiempo de secado.

Se recomienda no sobrepasar la temperatura de 60 °C en el proceso de secado ya que ocasiona daños en el producto.

La velocidad de aire recomendada en el secado para granos es de 1,5 m/s a esta velocidad el proceso de secado es uniforme.

Acoplar un sistema que verifique el porcentaje de humedad del producto luego de finalizar todo el proceso de secado durante el tiempo establecido.

Comprobar si con el modelo de máquina construida la factibilidad de utilizar este proceso de secado para otro tipo de producto.

Estar alejado del quemador al momento que se active de forma automática puede ocasionar quemaduras.

Si en el funcionamiento se presenta recalentamiento de los elementos apagar inmediatamente la máquina y proceder a verificar el posible daño.

## BIBLIOGRAFÍA

**ASME.** *Rules for construction of pressure vessels.* New York, 2013.

**AVNER, Sydney.** *Introducción a la metalurgia física.* 2da ed. México: McGRAW-HILL, 1988. pp. 360.

**BUDYNAS, Richard & NISBETT, Keith.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* 8va ed. México: McGraw-Hill, 2008. pp. 5-7.

**CENGEL, Yunes A. & BOLES, Michael A.** *Termodinámica.* 7a ed. México: Mc Graw Hill, 2012. pp. 746.

**ECUADOR, PRO.** *Análisis del sector cacao y elaborados.* [En línea] 2013. [Consultado el: 06 de junio de 2016]. Disponible en: [http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/08/PROEC\\_AS2013\\_CACAO.pdf](http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/08/PROEC_AS2013_CACAO.pdf).

**ECUADOR, PRO.** *Perfil sectorial de cacao y elaborados.* [En línea] 2015. [Consultado el: 15 de junio de 2016]. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>.

**ESPINOZA, Cristina & RUIZ, Valeria.** *Diseño y Construcción de una máquina secadora de cacao para aplicación agroindustrial en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.* [En línea] (Tesis) (Ingeniería) Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecatrónica, Sangolquí, Ecuador. 2015. [Consultado el: 20 de junio de 2016]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/10323>.

**GONZÁLES, Ángel.** *Modelo de empresa asociativa acopiadora de cacao fino de aroma para los productores del Cantón Quinsaloma.* [En línea] (Tesis) (Magíster) Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador. 2012. [Consultado el: 15 de junio de 2016]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2748/6/UPS-GT000274.pdf>.

**HAMROCK, Bernard.** *Elementos de máquinas.* [trad.] Ana García. México D.F: McGRAW-HILL, 2000. pp. 3.

**HAUSER, G.; et al.** *Criterios para el diseño higiénico de equipos.* [En línea] 2004. [Consultado el: 26 de julio de 2016]. Disponible en: [https://www.ehedg.org/fileadmin/guidelines/DOC\\_08\\_SP\\_2004.pdf](https://www.ehedg.org/fileadmin/guidelines/DOC_08_SP_2004.pdf).

**HOLMAN, J.P.** *Transferencia de calor.* 10a ed. México: McGraw-Hill, 1999. pp. 596.

**JÁCOME, María.** *Incidencia de la aplicación de tecnología de secado en el mejoramiento del valor agregado del cacao (Theobroma cacao) variedad CCN-51.* [En línea] (Tesis) (Ingeniería) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias de Ingeniería en Alimentos y Bioquímica, Escuela de Ingeniería en Alimentos, Ambato, Ecuador. 2010. [Consultado el: 20 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www>

.censalud.ues.edu.sv/CDOCDeployment/documentos/INCIDENCIA\_DE\_LA\_APLICACION\_DE\_TECNOLOGIA\_DE\_SECADO\_EN\_EL\_EMJORAMIENTO....pdf.

**JIMBO, César & ARBOLEDA, Freddy.** Diseño mecánico y construcción de un secador de cacao (*Theobroma cacao* L.) al vacío para medianos y grandes productores en la Provincia de Manabí. [En línea] (Tesis) (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil, Ecuador. 2016. [Consultado el: 20 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/34444/DCD88304.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>.

**JORDÁN, Joann.** Analizar y validar un programa de rehabilitación en la poscosecha del cacao CCN51, en la Finca Rami, en la Provincia de los Ríos. [En línea] (Tesis) (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil, Ecuador. 2013. [Consultado el: 23 de junio de 2016]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89728/D-79835.pdf>.

**LÓPEZ CHICA, Jaime.** Desarrollo de un sistema de secado de cacao de aroma, utilizando combustible convencional y energía renovable. [En línea] (Tesis) (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador. 2015. [Consultado el: 01 de junio de 2016]. Disponible en: <http://studylib.es/doc/7951144/tesis-de-grado---dspace-espoch---escuela-superiorpolit%C3%A9...>

**NORTON, Robert.** *Diseño de maquinaria*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2009. pp. 7.

**PEREZ, Mario; et al.** Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo. [En línea] (Tesis) (Ingeniería) Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Electrónica y Automática. 2007. [Consultado el: 22 de julio de 2016]. Disponible en: <http://dea.unsj.edu.ar/control1/apuntes/unidad1y2.pdf>.

**PLAZA, Xavier & YANGUE, William.** Diseño e implementación de una secadora híbrida para el control y monitoreo del proceso de secado del cacao. [En línea] (Tesis) (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2012. [Consultado el: 15 de julio de 2016]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2748/6/UPS-GT000274.pdf>.

**RIBA, Carles.** *Diseño concurrente*. 1a ed. Barcelona, 2002. pp. 9-15.

**RUIZ, Arturo & ROJAS, Falcó.** *Despliegue de la función calidad (QFD)*. [En línea] 2009. [Consultado el: 20 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://web.cortland.edu/matresearch/QFD.pdf>.

**RUIZ, Jorge.** *Secadoras de cacao SIRCA (Ecuador)*. [En línea] 2015. [Consultado el: 4 de julio de 2016]. Disponible en: <http://www.canacacao.org/contenido.item.409/secadoras-de-cacao-sirca-ecuador.html>.

**SHAMES, Irving H.** *Mecánica de Fluidos*. 3ra ed. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill, 1995. pp. 216.

**TIRIRA, Lenin & CASTRO, Diego.** Diseño y Construcción de una máquina despulpadora de frutas. [En línea] (Tesis) (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, Riobamba, Ecuador. 2014. [Consultado el: 10 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3715/1/15T00586.pdf>.

**ZABALA, Gilberto.** *Termodinámica II*. 10a ed. Riobamba, 2012. pp. 53.